



**Ricardo Jorge dos Santos Gouveia**

Licenciatura em Ciências de Engenharia do Ambiente

## **Eficiência de remoção de microplásticos em quatro ETAR portuguesas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente, Perfil Engenharia Sanitária

Orientadora: Prof. Doutora Maria Paula de Oliveira Sobral,  
Professora Associada, FCT NOVA

Co-orientadora: Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro Amaral,  
Professora Auxiliar, FCT NOVA

Presidente: Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Helena Ferrão Ribeiro da Costa

Arguente: Prof.<sup>a</sup> Doutora Marta Susana Silvestre Gouveia Martins

Vogais: Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Paula de Oliveira Sobral  
Doutora Ana Cristina da Silva Mendes dos Santos





**Ricardo Jorge dos Santos Gouveia**

Licenciatura em Ciências de Engenharia do Ambiente

## **Eficiência de remoção de microplásticos em quatro ETAR portuguesas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente, Perfil Engenharia Sanitária

Orientadora: Prof. Doutora Maria Paula de Oliveira Sobral,  
Professora Associada, FCT NOVA

Co-orientadora: Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro Amaral,  
Professora Auxiliar, FCT NOVA

Presidente: Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Helena Ferrão Ribeiro da Costa

Arguente: Prof.<sup>a</sup> Doutora Marta Susana Silvestre Gouveia Martins

Vogais: Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Paula de Oliveira Sobral

Doutora Ana Cristina da Silva Mendes dos Santos



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Julho de 2018**



### **Eficiência de remoção de microplásticos em quatro ETAR portuguesas**

© Copyright, 2018, Ricardo Jorge dos Santos Gouveia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Todos os direitos reservados.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*“Know yourself and you will win all battles”*

*Sun Tzu, séc. IV*





## **Agradecimentos**

Às professoras Paula Sobral e Leonor Amaral, agradeço todo o apoio, paciência, força e incentivo na elaboração desta dissertação.

Aos investigadores do MARE, em especial à Joana Antunes, por todo o apoio e ajuda disponibilizada durante este trabalho.

À SIMARSUL, em especial à Engenheira Cristina Santos, pela disponibilização das amostras e informações requisitadas, assim como por me permitir visitar as ETAR em estudo.

À Dona Luísa do laboratório de análises químicas do Departamento de Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, pela ajuda na conservação e filtração das amostras.

À minha família e amigos por toda a força e apoio transmitido, durante as várias etapas da minha vida e durante a elaboração desta tese.



## Resumo

Esta dissertação tem como objetivo a determinação da eficiência de remoção de microplásticos em quatro ETAR portuguesas. Para tal recolheram-se amostras de um litro de afluente e dois litros de efluente nas ETAR do Barreiro/Moita, Quinta do Conde; Fernão Ferro e Lagoa/Meco. Devido à quantidade de matéria orgânica presente nas amostras de afluente da ETAR, foi necessário realizar um tratamento laboratorial a estas amostras. As primeiras amostras de afluente recolhidas nas quatro ETAR foram tratadas com uma solução de NaCl, enquanto que, as segundas e terceiras amostras recolhidas no Barreiro/Moita e Fernão Ferro, foram tratadas com uma solução de KOH.

A ETAR da Lagoa/Meco apresentou uma eficiência de retenção de somente 17%, enquanto que a ETAR da Quinta do Conde apresentou um valor extraordinariamente elevado de fragmentos no efluente tratado, tendo ocorrido um incremento de aproximadamente 1000% de fragmentos no efluente comparativamente ao verificado no afluente.

NA ETAR do Barreiro/Moita e na ETAR de Fernão Ferro, a eficiência de retenção verificada foi perto de 70% nas amostras tratadas com KOH, e de 65% e 15% para as amostras de NaCl das ETAR do Barreiro/Moita e Fernão Ferro respetivamente.

Esta dissertação conseguiu demonstrar que o efluente tratado das ETAR contém ainda uma quantidade significativa de microplásticos, que são descarregados diretamente para o meio recetor. Com base no caudal das ETAR, e nos resultados obtidos foi possível determinar que no pior dos casos as ETAR do Barreiro/Moita, Fernão Ferro, Lagoa/Meco e Quinta do Conde, libertam respetivamente, 188, 212, 104, e 2451 microplásticos por litro, que corresponde a 3456, 562, 368, e 14939 milhões de microplásticos por dia.

**Palavras-chave:** Portugal; Microplásticos; ETAR; Remoção; Barreiro/Moita; Quinta do Conde; Fernão Ferro; Lagoa/Meco



## **Abstract**

The main objective of this dissertation is the determination of the removal efficiency of microplastics in four wastewater treatment plants (WWTP). With this objective in mind it was collected one liter of untreated wastewater and two liters of treated wastewater in the WWTP of Barreiro/Moita, Quinta do Conde, Fernão Ferro and Lagoa/Meco. Because of the great quantities of organic matter present in the untreated wastewater samples where there was a need to execute a laboratorial treatment to this samples. The first samples collected on all four WWTP were treated with a Sodium Chloride solution, while the second and third samples collected in Barreiro/Moita and Fernão Ferro WWTP were treated with a Potassium Hydroxide solution.

In Lagoa/Meco WWTP the retention efficiency was only of 17%, while in Quinta do Conde WWTP there was an extremely high number of fragments in the treated wastewater, this number provoked a swell of nearly 1000% fragments in treated wastewater where in comparison with the numbers observed in the untreated wastewater.

At the Barreiro/Moita and Fernão Ferro WWTP the retention efficiency verified was approximately 70%, in the samples treated with Potassium Hydroxide and respectively 65% and 15% in the samples treated with Sodium Chloride.

This dissertation managed to demonstrate that the treated wastewater still has significant amounts of microplastics that were sent directly to the marine environment. With the values from the water flow of the four WWTP and the results obtained was possible to determine that in the worst case scenario, the Barreiro/Moita, Fernão Ferro, Lagoa/Meco and Quinta do Conde WWTP, release daily, respectively, 188, 212, 104, and 2451 microplastics liter, which corresponds to 3456, 562, 368, and 14939 million microplastics day.

**Keywords:** Portugal; Microplastic; WWTP; Removal; Barreiro/Moita; Quinta do Conde; Fernão Ferro; Lagoa/Meco



# Índice de matérias

1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento – definição da problemática .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.3 Revisão bibliográfica.....	2
1.3.1 Microplásticos.....	2
1.3.2 Microplásticos no ciclo urbano da água.....	7
2 Metodologia .....	11
2.1 Estudo do caso .....	11
2.1.1 ETAR do Barreiro/Moita .....	11
2.1.2 ETAR da Quinta do Conde .....	15
2.1.3 ETAR de Fernão Ferro.....	18
2.1.4 ETAR da Lagoa/Meco .....	21
2.2 Amostragem e procedimento laboratorial.....	24
2.2.1 Recolha das amostras e conservação.....	24
2.2.2 Filtração.....	25
2.2.3 Observação das amostras .....	29
2.2.4 Identificação de microplásticos por análise FTIR (ATR).....	30
2.2.5 Tratamento estatístico.....	30
3 Resultados.....	31
3.1 ETAR do Barreiro/Moita.....	31
3.2 ETAR da Quinta do Conde .....	36
3.3 ETAR de Fernão Ferro .....	39
3.4 ETAR da Lagoa/Meco.....	44
3.5 Tratamento estatístico .....	46
3.6 Microplásticos encontrados .....	46
3.7 Análise FTIR .....	49
4 Discussão .....	51
4.1 Discussão de Resultados .....	51
4.2 Limitações da metodologia .....	55

4.3 Formas de melhorar a eficiência de remoção das ETAR .....	55
5 Considerações finais .....	57
5.1 Conclusões .....	57
5.2 Recomendações para trabalhos futuros .....	58
Referências bibliográficas .....	59
Anexos .....	63



## Índice de Figuras

<b>Figura 1.1</b> - Quantidade de polímeros utilizados em 2015 e 2016 em milhões de toneladasS.....	5
<b>Figura 1.2</b> - Ciclo urbano da água. ....	7
<b>Figura 1.3</b> - Corte esquemático de uma EE. ....	9
<b>Figura 2.1</b> - Localização da Península de Setúbal. ....	11
<b>Figura 2.2</b> - ETAR do Barreiro/Moita.. ....	12
<b>Figura 2.3</b> - Subsistema do Barreiro/Moita com a ETAR e as EE.. ....	12
<b>Figura 2.4</b> - Esquema da fase líquida da ETAR do Barreiro/Moita. ....	13
<b>Figura 2.5</b> - Esquema da fase sólida da ETAR do Barreiro/Moita. ....	13
<b>Figura 2.6</b> - ETAR da Quinta do Conde. ....	15
<b>Figura 2.7</b> - Subsistema da Quinta do Conde com a ETAR e as EE. ....	16
<b>Figura 2.8</b> - Esquema da fase líquida da ETAR da Quinta do Conde ....	16
<b>Figura 2.9</b> - Esquema da fase sólida da ETAR da Quinta do Conde.....	17
<b>Figura 2.10</b> - ETAR de Fernão Ferro.....	18
<b>Figura 2.11</b> - Subsistema de Fernão Ferro com a ETAR e as EE. ....	19
<b>Figura 2.12</b> - Esquema da fase líquida da ETAR de Fernão Ferro.....	19
<b>Figura 2.13</b> - Esquema da fase sólida da ETAR de Fernão Ferro.....	20
<b>Figura 2.14</b> - ETAR da Lagoa/Meco. ....	21
<b>Figura 2.15</b> - Subsistema da Lagoa/Meco com a ETAR e as EE. ....	21
<b>Figura 2.16</b> - Esquema da fase líquida da ETAR da Lagoa/Meco.....	22
<b>Figura 2.17</b> - Esquema da fase sólida da ETAR da Lagoa/Meco ....	22
<b>Figura 2.18</b> - Amostrador para recolha de amostras compostas ....	24
<b>Figura 2.19</b> - Recipientes de plástico onde as amostras foram recolhidas e transportadas ....	25
<b>Figura 2.20</b> - Amostras de afluente bruto, à esquerda, e de efluente tratado, à direita, em gobelés de 2 litros devidamente cobertos com folhas de papel de alumínio. ....	25
<b>Figura 2.21</b> - Materiais utilizados no processo de filtração. ....	26
<b>Figura 2.22</b> – Filtros após a filtração armazenados em caixas de Petri individuais. ....	27
<b>Figura 2.23</b> – Amostras de afluente bruto com diferentes volumes de solução de KOH ao fim de 5 dias de digestão ....	28
<b>Figura 2.24</b> - Filtros dos testes de KOH ....	28

<b>Figura 2.25</b> - Lupa Leica MZ 125 utilizada na observação das amostras.....	29
<b>Figura 3.1</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita. ....	31
<b>Figura 3.2</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) das amostras BN e BKM no efluente e afluente da ETAR do Barreiro/Moita. ....	32
<b>Figura 3.3</b> - Eficiência de remoção de microplásticos (fibras e fragmentos) nas amostras BN e BKM da ETAR do Barreiro/Moita. ....	32
<b>Figura 3.4</b> - Quantidade de microplásticos por cor, no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita. ....	33
<b>Figura 3.5</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, para a amostra BN.....	33
<b>Figura 3.6</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, para as amostras BK1 e BK2 .....	34
<b>Figura 3.7</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita para as amostras BN e BKM .....	35
<b>Figura 3.8</b> - Eficiência de remoção por tamanho para a ETAR do Barreiro/Moita e para as amostras BN e BKM.....	35
<b>Figura 3.9</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde. ....	36
<b>Figura 3.10</b> - Eficiência de remoção de microplásticos (fibras e fragmentos) para a ETAR da Quinta do Conde. ....	37
<b>Figura 3.11</b> - Quantidade de microplásticos por cor, no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde. ....	37
<b>Figura 3.12</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde. ....	38
<b>Figura 3.13</b> - Eficiência de remoção por tamanho para a ETAR da Quinta do Conde. I) Fibras; II) Fragmentos. ....	38
<b>Figura 3.14</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos), no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro.....	39
<b>Figura 3.15</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro para as amostras FN e FKM. ....	40
<b>Figura 3.16</b> - Eficiência de remoção de microplásticos (fibras e fragmentos) nas amostras FN e FKM da ETAR de Fernão Ferro. ....	40
<b>Figura 3.17</b> - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro. ....	41

<b>Figura 3.18</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, para a amostra FN. ....	41
<b>Figura 3.19</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro para as amostras FK1 e FK2.....	42
<b>Figura 3.20</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro para as amostras FN e FKM.....	43
<b>Figura 3.21</b> - Eficiência de remoção por tamanho para a ETAR de Fernão Ferro e para as amostras FN e FKM .....	43
<b>Figura 3.22</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco.....	44
<b>Figura 3.23</b> - Eficiência de remoção de microplásticos (fibras e fragmentos) para a ETAR da Lagoa/Meco.....	44
<b>Figura 3.24</b> - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco. ....	45
<b>Figura 3.25</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco.....	45
<b>Figura 3.26</b> - Eficiência de remoção por tamanho para a ETAR da Lagoa/Meco.....	46
<b>Figura 3.27</b> – Fragmentos encontrados nos filtros.....	47
<b>Figura 3.28</b> – Fibras encontradas nos filtros. ....	47
<b>Figura 3.29</b> – Fotografia e respectivo espectro de um dos microplásticos identificado como PE. ....	49
<b>Figura 4.1</b> – Exemplo de um tipo de equipamento utilizado nas ETAR revestido com tinta azul encontrado em desuso.....	53
<b>Figura A.1</b> – Resultado dos testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para os tipos de microplásticos. ....	73
<b>Figura A.2</b> - Resultado do teste de Kruskal-Wallis para os tipos de microplásticos e o local de recolha das amostras. ....	74
<b>Figura A.3</b> - Resultado do teste de Spearman para os tipos de microplásticos. ....	75

## Índice de tabelas

<b>Tabela 1.1</b> - Código numérico dos plásticos, propriedades e principais utilizações. ....	6
<b>Tabela 2.1</b> - EE do sistema da ETAR do Barreiro/Moita e respectivo tratamento. ....	15
<b>Tabela 2.2</b> - EE do sistema da ETAR da Quinta do Conde e respetivo tratamento.....	18
<b>Tabela 2.3</b> - EE do sistema da ETAR de Fernão Ferro e respectivo tratamento. ....	20
<b>Tabela 2.4</b> - EE do sistema da ETAR da Lagoa/Meco e respectivo tratamento. ....	23
<b>Tabela 3.1</b> - Resumo de caracterísitcas e dos resultados observados nas quatro ETAR em estudo. ....	49
<b>Tabela 4.1</b> - Resultados de alguns estudos semelhantes, e os verificados nesta dissertação para as ETAR do Barreiro/Moita e Fernão Ferro .....	51
<b>Tabela A.1</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total e remoção para a amostra BN. ....	63
<b>Tabela A.2</b> - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total para a amostra BN. ....	63
<b>Tabela A.3</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total e remoção para a amostra BN. ....	64
<b>Tabela A.4</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total e remoção para as amostras BK1, BK2 e BKM. ....	64
<b>Tabela A.5</b> - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total para as amostras BK1, BK2 e BKM. ....	65
<b>Tabela A.6</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total e remoção para as amostras BK1, BK2 e BKM. ....	66
<b>Tabela A.7</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde, assim como os respectivos pesos no total e remoção. ....	66
<b>Tabela A.8</b> - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde, assim como os respectivos pesos no total. ....	67
<b>Tabela A.9</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde, assim como os respectivos pesos no total e remoção. ....	67
<b>Tabela A.10</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total e remoção para a amostra FN. ....	68
<b>Tabela A.11</b> - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total para a amostra FN.....	68

<b>Tabela A.12</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total e remoção para a amostra FN. ....	69
<b>Tabela A.13</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total e remoção para as amostras FK1, FK2 e FKM. ....	69
<b>Tabela A.14</b> - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR do Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total para as amostras FK1, FK2 e FKM. ....	70
<b>Tabela A.15</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total e remoção para as amostras FK1, FK2 e FKM. ....	71
<b>Tabela A.16</b> - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco, assim como os respectivos pesos no total e remoção. ....	71
<b>Tabela A.17</b> - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco, assim como os respectivos pesos no total. ....	72
<b>Tabela A.18</b> - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco, assim como os respectivos pesos no total e remoção. ....	72



## Abreviaturas e Acrónimos

ABS – Acrilonitrilo Butadieno Estireno

ATR – Reflectância Total Atenuada

BPA – Bisfenol A

CCE – Comissão das Comunidades Europeias

EE – Estação Elevatória

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FTIR – Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

HDPE – Polietileno de Alta Densidade

LDPE – Polietileno de Baixa Densidade

LLDPE – Polietileno Linear de Baixa Densidade

KOH – Hidróxido de Potássio

MDPE – Polietileno de Média Densidade

MP – Microplástico

MSFD – *Marine Strategy Framework Directive*

NaCl – Cloreto de Sódio

PA – Poliamida

PAH – Hidrocarboneto Policíclico Aromático

PAM – Poliacrilamida

PC – Policarbonato

PCB – Bifenil Policlorado

PET – Politereftalatos de Etilenos

PMMA – Polimetil-Metacrilato

POP – Poluentes Orgânicos Persistentes

PP – Polipropileno

PS – Poliestirenos

PUR – Poliuretano

PVC – Policloreto de Vinilo

SAN – Estireno Acrilonitrilo

SIMARSUL – Sistema Multimunicipal de Saneamento de Águas Residuais da Península de Setúbal

UV – Radiação Ultravioleta

WWTP – *Wastewater Treatment Plants*



# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento – definição da problemática

O lixo marinho tem-se tornado cada vez mais num grave problema, resultante do aumento da atividade do homem e da má gestão dos resíduos gerados por estes. O lixo marinho é definido como qualquer material sólido, persistente, manufaturado ou processado, que seja descartado ou abandonado de forma deliberada ou não no ambiente marinho ou costeiro. Nesta definição incluem-se objetos que, através de diversas rotas, como rios, esgotos, vento ou chuva, acabam por entrar no oceano. Os elementos mais comuns, nesta problemática evidenciada a nível global, são os plásticos, as madeiras, os metais, os vidros, as borrachas, os papéis e até mesmo as peças de roupa (Galgani et al., 2010). Nos últimos anos, o plástico, devido às suas características (como a durabilidade), acabou por ser incorporado em diversos tipos de atividades como na indústria ou em produtos do uso quotidiano. No entanto, destas suas características ímpares, surge uma nova e recorrente problemática, relacionada intimamente com a sua persistência e dispersão no ambiente (Gall & Thompson, 2015).

De acordo com a Plastics Europe (2017), uma associação comercial europeia que representa os produtores de plástico, entre 2007 e 2017, a quantidade de plástico produzido a nível mundial aumentou de aproximadamente 260 milhões de toneladas para cerca de 335 milhões de toneladas.

Segundo os dados compilados por Barnes et al. (2009), apesar de as quantidades e propriedades dos resíduos produzidos serem muito diferentes entre os vários países do mundo, estima-se que cerca de 10% dos resíduos sólidos produzidos mundialmente sejam plásticos. Estes correspondem a 80% dos resíduos sólidos acumulados na superfície e fundo dos oceanos e nas praias. Dados mais recentes de 2010, recolhidos e compilados por Jambeck et al., (2015) permitiram estimar que nos 192 países costeiros estudados com uma população combinada de 6,4 mil milhões de habitantes, estes produziam 2,5 mil milhões de Megatoneladas. Tendo estes valores como base, e tendo em conta que 11% dos resíduos produzidos são plásticos, conseguiram estimar que no ano de 2010 foi produzido perto de 99,5 milhões de Megatoneladas de resíduos de plástico e que desses entre 4,8 a 12,7 milhões de Megatoneladas chegaram aos oceanos.

Estes números são preocupantes uma vez que, de acordo com Thompson et al. (2005), o plástico demora centenas de anos a degradar-se, portanto todo o plástico produzido até à data ainda se encontra no ambiente, como produto ou resíduo. No estudo elaborado por Hopewell et al. (2009) aproximadamente 37% dos plásticos produzidos são embalagens descartáveis e estas contribuem em cerca de 60% para a quantidade de resíduos produzidos.

Dentro desta temática, esta dissertação irá focar-se nos microplásticos, plásticos de dimensão inferior a cinco milímetros. Estes encontram-se presentes em diversos artigos do uso quotidiano, como o caso dos cosméticos e das pastas de dentes e podem ser introduzidos no ambiente por intermédio das águas residuais. Deste modo tornou-se importante verificar o papel das ETAR e qual a sua capacidade de retenção destes microplásticos, impedindo a sua passagem para o meio aquático.

Esta dissertação foca-se na avaliação da capacidade que quatro ETAR portuguesas apresentam na retenção dos microplásticos presentes nas águas residuais, tentando responder às questões anteriormente levantadas. As quatro ETAR em estudo são a ETAR do Barreiro/Moita, da Quinta do Conde, de Fernão Ferro e da Lagoa/Meco.

## 1.2 Objetivos

A presente dissertação apresenta os seguintes objetivos:

- Quantificar e categorizar os microplásticos, como fibras e fragmentos, bem como as suas dimensões e cor, no afluente bruto de quatro ETAR diferentes;
- Quantificar e categorizar os microplásticos, como fibras e fragmentos, bem como as suas dimensões e cor, no efluente tratado de quatro ETAR diferentes;
- Calcular a eficácia de retenção de microplásticos das quatro ETAR;
- Comparar os resultados entre as diferentes ETAR e com resultados obtidos em estudos semelhantes.

## 1.3 Revisão bibliográfica

### 1.3.1 Microplásticos

#### *Problemática dos microplásticos*

Uma das primeiras evidências da acumulação de fragmentos de plástico no ambiente verificou-se de forma indireta através da examinação do conteúdo estomacal de aves marinhas nos finais de 1960 (Kenyon & Kridler, 1969). Mais tarde, nos inícios de 1970, Buchanan (1971) observou a existência de pequenos fragmentos de plástico na água do mar aquando a recolha de plâncton no mar do Norte. Só uns anos mais tarde, Thompson et al., (2004) constatou a existência de fragmentos de plástico de tamanho ainda mais reduzido na costa do Reino Unido, alguns apresentando cerca de 20  $\mu\text{m}$  de diâmetro (Barnes et al., 2009).

Arthur et al., (2009) define os microplásticos como sendo partículas de plástico de tamanho inferior a 5 mm de diâmetro, incluindo as partículas na escala dos nanómetros. Os microplásticos dividem-se em duas categorias, os primários e os secundários. Os primários são produzidos em dimensões inferiores a 5 mm para uma grande variedade de usos tanto a nível industrial como para uso doméstico. Exemplos de microplásticos primários são as pastilhas de resina (2- 5 mm) utilizadas pela indústria na produção de diversos objetos e as microesferas (200 - 500  $\mu\text{m}$ ) produzidas para uso em produtos de limpeza, cosméticos e em abrasivos industriais. Os microplásticos secundários têm origem na degradação de objetos de plástico de maiores dimensões, através de processos de degradação como a radiação ultravioleta (MSFD Technical Subgroup On Marine Litter, 2013).

Os microplásticos existem em todos os ambientes aquáticos, desde lagos e rios até mares e oceanos. No entanto, de acordo com as informações recolhidas por Cole et al. (2013), a sua quantidade é muito variável, existindo provas da diminuição da quantidade de microplásticos

registados em alguns ambientes mostrando a sua grande capacidade de dispersão no ambiente, no entanto é inevitável que os microplásticos se acumulem no ambiente marinho, devido às suas propriedades que os tornam muito difíceis de biodegradar.

Dependendo do seu tamanho, os microplásticos podem originar danos físicos, hormonais, fisiológicos ou até mesmo alterações de comportamento aos seres vivos. Estes efeitos verificam-se tanto em organismos na base da cadeia trófica, como nos predadores nas cadeias superiores, (Anbumani & Kakkar, 2018).

Em organismos de pequenas dimensões, Wright et al. (2013) documentou que os microplásticos podem causar lesões potencialmente fatais originadas por bloqueios no sistema digestivo ou até mesmo abrasões provocadas por objetos pontiagudos enquanto que Cole et al., (2015) observou que os microplásticos ficavam retidos nos apêndices exteriores ou nas carapaças de pequenos copépodes, podendo ter repercussões a nível da locomoção, alimentação, acasalamento e, até mesmo, na sua capacidade de detetar presas ou evitar predadores, comprometendo a sobrevivência do organismo.

Os microplásticos podem entrar dentro dos organismos de predadores através da ingestão de água, ou após a ingestão de seres vivos de cadeia trófica mais baixa, que podem acumular microplásticos dentro deles. A ingestão destes organismos na base da cadeia trófica contaminados com microplásticos pode originar fenómenos de bioamplificação pela cadeia trófica até chegar aos organismos de nível trófico superior, como o ser humano. Os microplásticos quando em quantidades significativas estão associados a disfunções alimentares, diminuição das capacidades reprodutoras dos organismos, danos físicos no sistema digestivo, problemas metabólicos e alterações na fisiologia do fígado (Anbumani & Kakkar, 2018; Cole et al., 2013).

Os danos causados nos organismos podem ser igualmente provocados pela absorção e a adsorção de contaminantes por parte dos microplásticos, estes fenómenos já estão muito documentados (e.g Bakir et al., 2014; Frias et al., 2010; Teuten et al., 2009). Os microplásticos adsorvem compostos tóxicos presentes na água, estes tóxicos entram dentro dos organismos marinhos por fenómenos de adsorção<sup>1</sup> e absorção, principalmente na ingestão e na inalação de microplásticos, sendo os contaminantes mais conhecidos e estudados os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), sendo exemplos destes os Bifenis Policlorados (PCB's), Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH's), pesticidas organoclorados, alquilfenóis e o Bisfenol A (BPA) (Teuten et al., 2009). Estes são fatais para os organismos marinhos e até mesmo para o ser humano, quando em grande quantidade, no entanto, estes tóxicos, quando não existem em quantidade suficiente para serem fatais, podem ter efeitos negativos nos organismos, como por exemplo no sistema reprodutor, alterando assim a capacidade de alguns organismos de se reproduzirem (Cole et al., 2015).

---

<sup>1</sup> Adsorção, processo em que as moléculas de uma substância, normalmente gases ou líquidos, aderem à superfície de uma outra substância, como por exemplo um sólido.

Os plásticos e os microplásticos podem também servir de vetor de transporte a microrganismos patogénicos transportadores de doenças ou até mesmo invasores, como algumas espécies de algas, podendo estes comprometer os ecossistemas em que são inseridos. (Anbumani & Kakkar, 2018; Zettler et al., 2013).

### ***Possíveis rotas de introdução no ambiente***

Os microplásticos, como referido anteriormente, podem ser caracterizados como primários ou secundários, dependendo da sua origem. Os microplásticos primários entram no meio aquático, na sua grande maioria, através dos esgotos. Enquanto que os secundários entram no meio através da fragmentação de plásticos de maior dimensão já existentes, devido a processos de desgaste mecânico ou de degradação fotolítica e/ou química (Browne et al., 2011; Cole et al., 2011).

Devido a uma desadequada gestão dos resíduos, os plásticos e os microplásticos, através de diferentes vias como os rios, esgotos, vento, escoamento superficial (resultante essencialmente da chuva), ou até mesmo por deposição direta pelo homem, conseguem chegar aos mares e oceanos (Andrady, 2011; Barnes et al., 2009; Corcoran et al., 2009).

As ETAR são muitas vezes relacionadas com a entrada de fibras e fragmentos no meio aquático. Alguns estudos realizados anteriormente, determinaram que não existe uma remoção total dos microplásticos nas ETAR, o que por sua vez permite a entrada destes no ambiente marinho, principalmente fibras de roupa libertadas no processo de lavagem de roupa por máquinas de lavar roupa (Browne et al., 2011; Magnusson & Norén, 2014; Murphy et al., 2016).

### ***Polímeros de plástico***

Os plásticos são polímeros sintéticos orgânicos criados por monómeros extraídos de matérias primas fósseis, como o petróleo e o gás natural (Cole et al., 2011). Crawford, (1998) no seu livro, afirma que os termos plástico e polímero são muitas vezes utilizados como sinónimos, no entanto existem diferenças entre ambos.

O mesmo escritor explica que os polímeros são materiais em estado puro, naturais ou sintéticos, que resultam de processos de polimerização de monómeros. São exemplo de polímeros naturais a seda e a celulose. Plástico, no entanto, é o nome dado ao material resultante da adição de aditivos como plastificantes, que alteram as propriedades do polímero, como a dureza, flexibilidade e outras

Os plásticos podem ser ainda divididos em duas grandes categorias, os termoplásticos e os termofixos. Os termoplásticos são plásticos que possuem a capacidade de reverter os processos de endurecimento, ou seja, os termoplásticos podem ser derretidos, moldados e endurecidos repetidamente, enquanto que os termofixos, depois de endurecerem, não podem voltar à forma líquida, devido às suas modificações químicas no processo de aquecimento (Plastics Europe, 2017).

Como é possível entender a partir da análise da **Figura 1.1**, a família de plásticos mais utilizada é a dos termoplásticos, representada pelos Polipropilenos (PP), os Polietilenos de baixa e linear baixa densidade (LDPE e LLDPE), os Polietilenos de alta e média densidade (HDPE e MDPE), os

Policloreto de vinilo (PVC), os Politereftalatos de etilenos (PET) e os Poliestirenos (PS). O único composto da família dos termofixos a aparecer entre estes termoplásticos é o Poliuretano (PUR).



**Figura 1.1** - Quantidade de polímeros produzidos na Europa em 2015 e 2016 em milhões de toneladas. (adaptado de Plastics Europe, 2017).

O parlamento europeu emitiu a Diretiva 96/62/CE que propôs a elaboração de um sistema de rotulagem dos materiais, através de um código numérico de forma a facilitar a identificação e separação de resíduos para a sua posterior reutilização ou reciclagem. Este sistema foi apresentado na Decisão da comissão 97/129/CE, na qual os plásticos foram separados em sete famílias, cujas propriedades e principais utilizações se encontram descritas na **Tabela 1.1**. A Diretiva 96/62/CE foi transposta para a lei portuguesa pelo Decreto Lei n.º 366-A/97 que foi posteriormente alterada pelo Decreto-Lei n.º 48/2015. É importante referir que devido às características dos dois grupos de plásticos, é somente viável reciclar os termoplásticos, assim como é importante referir que a qualidade e custo de produção do plástico a partir de matéria prima reciclada, é diretamente proporcional à pureza da mesma, como tal é importante identificar os produtos de plástico para facilitar a devida separação, (Brandrup et al., 1996).

**Tabela 1.1** - Código numérico dos plásticos, propriedades e principais utilizações.

CN*	Plástico	Propriedades do plástico	Principais utilizações
		(Crawford, 1998)	(Plastics Europe, 2017)
1	PET	É caracterizado pela resistência, força, resistência à abrasão, baixo atrito, resistência química e baixa absorção de humidade.	Garrafas de refrigerantes e de águas.
2	HDPE	É caracterizado por ter uma densidade entre 935-965 kg/m <sup>3</sup> e pela sua dureza e rigidez.	Brinquedos, pacotes de leite, garrafas de produtos de limpeza, canos, e produtos de uso doméstico variado.
3	PVC	É caracterizado por uma boa resistência à erosão, excelente isolamento elétrica, boas propriedades superficiais e por serem auto extinguíveis.	Materiais de construção, como revestimentos armações e isolamentos de fios elétricos, mangueiras e piscinas insufláveis.
4	LDPE	É caracterizado por uma densidade entre 918-935 kg/m <sup>3</sup> e pela sua resistência e flexibilidade.	Sacos de plástico, embalagens de comida, tabuleiros e embalagens.
5	PP	É caracterizado pela sua versatilidade, por ter a densidade mais baixa de todos os termoplásticos (na casa dos 900 kg/m <sup>3</sup> ), e pela sua combinação de força, dureza e resistência a químicos e à fadiga.	Recipiente de comida, embalagens de doces e petiscos, recipientes para uso em micro-ondas, canos e peças de automóveis.
6	PS	É caracterizado, por na sua forma não pigmentada, possuir uma clareza cristalina, e pelo seu baixo custo e facilidade de processamento.	Armações de óculos, isolamentos de edifícios, embalagens de ovos e copos de plástico.
7	Outros	São exemplos de plásticos nesta categoria os: PUR, ABS, SAN, PA E PC	Lentes de óculos, fibras óticas materiais cirúrgicos, implantes e ecrãs tácteis.

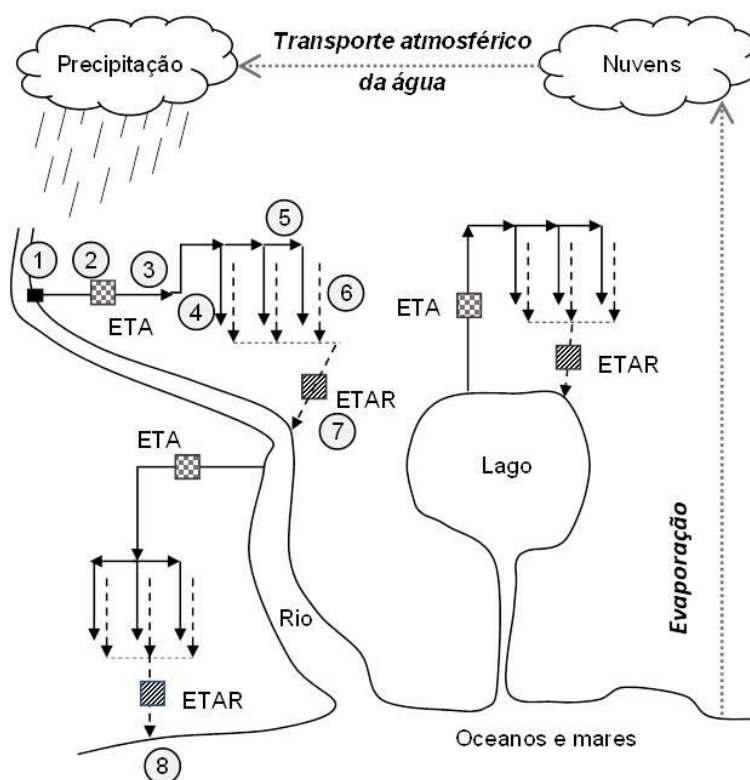
\*Código numérico (CCE, 1997)

### 1.3.2 Microplásticos no ciclo urbano da água

De acordo com Marques e Sousa, (2014) o ciclo hidrológico descreve as etapas pelas quais a água passa na natureza até voltar ao meio no estado líquido, desde a sua evaporação nos oceanos, rios e lagos, à evapotranspiração dos animais até à precipitação que volta a disponibilizar a água no estado líquido pronta a ser utilizada por plantas, animais ou voltar a ser evaporada, retomando o seu ciclo. O homem interfere neste ciclo originando o ciclo urbano da água.

O homem utiliza a água para a produção de energia, processos em fábricas, serviços e uso doméstico. Após a sua utilização se não for garantida a qualidade necessária para que não traga impactos negativos no meio aquático quando inserida de novo neste, a água resultante da utilização do homem necessita de ser tratada por intermédio de uma ETAR.

A **Figura 1.2** mostra um exemplo do ciclo urbano da água, (Marques & Sousa, 2014).



**Figura 1.2** - Ciclo urbano da água (Adaptado de Marques & Sousa, 2014).

**Legenda:** 1. Captação de água superficial, (e.g. rios e lagos), ou subterrânea (e.g. furos); 2. Tratamento da água em estação de tratamento de água (ETA); 3. Transporte/Adução 4. Armazenamento; e reservatório de distribuição 5. Distribuição. 6. Recolha e drenagem até ETAR; 7. Tratamento da água residual numa ETAR; 8. Deposição. Emissão da água residual tratada para o meio recetor.

#### **ETAR/ Estações elevatórias**

Água residual é o termo pelo qual se designam os resíduos líquidos recolhidos de áreas residenciais, comerciais e industriais (Qasim, 1999). A esta ainda acresce a água subterrânea que se infiltra na rede de drenagem e as escorrências superficiais originárias da rega, limpeza de pavimentos de ruas e edifícios ou até mesmo da precipitação, que entra na referida rede através de sarjetas e sumidouros (Marques & Sousa, 2014; Tchobanoglous et al., 2004).

A água residual não tratada é portadora de matéria orgânica carbonatada, de microrganismos patogénicos que habitam no intestino humano, de matérias tóxicas potencialmente cancerígenas e/ou mutagénicas e de nutrientes, como o azoto e o fósforo, maioritariamente responsáveis pela eutrofização do meio recetor (Tchobanoglous et al., 2004).

O tratamento das águas residuais nas ETAR tradicionais pode ser dividido em duas fases, a fase líquida e a fase sólida. A fase líquida corresponde ao tratamento da água residual, enquanto que a fase sólida corresponde ao tratamento da “lama” originada dos próprios processos de tratamento da água residual (Spellman, 2003).

A fase líquida incorpora as seguintes etapas (Qasim, 1999; Tchobanoglous et al., 2004):

- Tratamento preliminar – Remoção de detritos de maior dimensão, gorduras e areias, de forma a proteger os equipamentos e órgãos da ETAR;
- Tratamento primário – Remoção de uma parte dos sólidos suspensos e matéria orgânica através de um processo físico, podendo ou não adicionar-se químicos que promovam a floculação dos sólidos e matéria orgânica;
- Tratamento secundário – Remoção da matéria orgânica biodegradável, de sólidos suspensos e nutrientes através de um processo biológico;
- Tratamento terciário – Tratamento adicional que corrige a qualidade da água até atingir a qualidade desejada. Podem ser tratamentos físicos ou químicos tais como a filtração, a desinfecção ou oxidações avançadas.

A fase sólida tradicionalmente incorpora as seguintes etapas (Qasim, 1999; Tchobanoglous et al., 2004):

- Espessamento – Nesta etapa ocorre a remoção de uma parcela significativa de água das lamas através de processos físicos, podendo ser coadjuvados por reagentes químicos como por exemplo o polieletrólito;
- Estabilização química – O objetivo desta etapa é a redução dos patogénicos, remoção de odores e controlo da decomposição da matéria orgânica. A estabilização pode ser feita através da adição de químicos, como hidróxido de cálcio.
- Digestão – Esta etapa tem como objetivo a reduzir o teor em matéria orgânica e água das lamas
- Desidratação – Remoção da restante humidade da lama. É muitas vezes auxiliada pela adição de químicos ou polieletrólito.

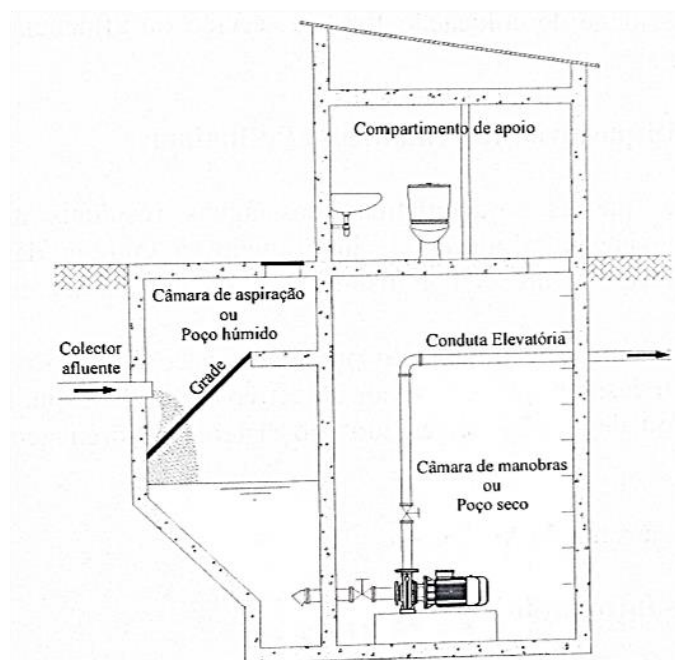
A água libertada nos processos da fase sólida normalmente retorna à cabeça da ETAR, como descreve o Decreto Lei n.º 152/97 de 19 de junho, trazendo os químicos e polieletrólito utilizados na fase sólida para a fase líquida. O polieletrólito é um polímero orgânico que tem como objetivo agregar a matéria orgânica (Qasim, 1999; Tchobanoglous et al., 2004).

Para garantir a afluência à ETAR é por vezes necessário proceder-se à construção de estações



elevatórias (EE), cujo propósito é bombear a água. No entanto, por forma a proteger os equipamentos dessas elevatórias de sólidos presentes na água residual é necessário inserir um tratamento preliminar como uma gradagem grossa e/ou fina, e, até por vezes, uma remoção de areias, (Marques & Sousa, 2014; Qasim, 1999).

A **Figura 1.3** mostra um corte esquemático de uma estação elevatória com tratamento preliminar, neste caso gradagem.



**Figura 1.3** - Corte esquemático de uma EE. (Marques & Sousa, 2014).

Existem estudos realizados relativamente ao contributo das ETAR como barreira à passagem de microplásticos (Carr et al., 2016; Michielssen et al., 2016; Murphy et al., 2016; Talvitie et al., 2017). Estes trabalhos realizados constataam que as ETAR conseguem reter uma percentagem significativa dos microplásticos nas suas diversas etapas. Uma vez que as ETAR tratam grandes caudais de água residual, estas, mesmo apresentando uma eficiência de remoção elevada de microplásticos, permitem a entrada de uma quantidade significativa destes no meio recetor.

Não existe uma metodologia padrão para a recolha de água residual e tratamento da matéria orgânica presente, quando o objetivo é identificar microplásticos, encontrando-se na bibliografia diversas metodologias. Carr et al., (2016) utilizou crivos, cuja malha inferior foi de 10  $\mu\text{m}$  de forma a recolher os microplásticos diretamente da água enquanto que, Leslie et al., (2017) e Dyachenko et al., (2017), recolheram amostras de água residual e trataram-nas posteriormente no laboratório. O primeiro autor utilizou uma solução com NaCl e o segundo uma digestão com uma solução de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $\text{FeSO}_4$ .

Como os microplásticos apresentam diferentes densidades é de prever que estes sejam removidos nos processos de pré-tratamento e tratamento primário (Carr et al., 2016). Este facto foi constatado em diferentes estudos, nos quais se verificaram que ocorreu a remoção de 75% a 97% dos

microplásticos no tratamento preliminar e primário (Carr et al., 2016; Leslie et al., 2017; Talvitie et al., 2017).

Carr et al., 2016; Leslie et al., 2017; Talvitie et al., 2017 constataram que a filtração no tratamento terciário não contribuía de forma significativa para a remoção dos microplásticos, esta hipótese foi rejeitada nos estudos de Magnusson e Norén, 2014; Michielssen et al., 2016; Mintenig et al., 2017, estes verificaram que dependendo do tipo de filtração, esta pode remover uma grande parte dos microplásticos que escaparam nos processos anteriores. A filtração que mostrou uma maior eficiência de remoção foi a filtração por membranas, mais concretamente microfiltração.

Um dos problemas associados aos microplásticos com origem em ETAR, é a possibilidade de estes transportarem microrganismos patogénicos com resistência a antibióticos, adquirida pelo contacto destes com antibióticos e outros compostos farmacêuticos presentes no afluente da ETAR para o meio aquático (Eckert et al., 2018).

### ***Instrumentos legais***

A qualidade do efluente tratado pelas ETAR é regulamentada pelo Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho, este estabelece os parâmetros a analisar e os valores a cumprir consoante a sensibilidade do meio recetor. É importante conhecer a sensibilidade do meio, porque a exigência do tratamento está diretamente relacionada com a sensibilidade do meio, ou seja, os valores limite para os diversos parâmetros são mais exigentes quando o meio recetor é uma zona sensível.

O mesmo decreto lei define zonas sensíveis como extensões de água doce, estuários e águas costeiras que se revelem eutróficos ou suscetíveis de se tornarem num futuro próximo se não forem tomadas medidas de proteção, ou águas doces de superfície destinadas à captação de água potável em que o teor de nitratos possa exceder aquele estabelecido na Diretiva n 75/440/CEE de 16 de julho de 1975. Os parâmetros definidos pelo Decreto-Lei n 152/97 de 19 de junho são:

- Carência bioquímica de oxigénio;
- Carência química de oxigénio;
- Total de partículas sólidas em suspensão;
- Fósforo total;
- Azoto total.

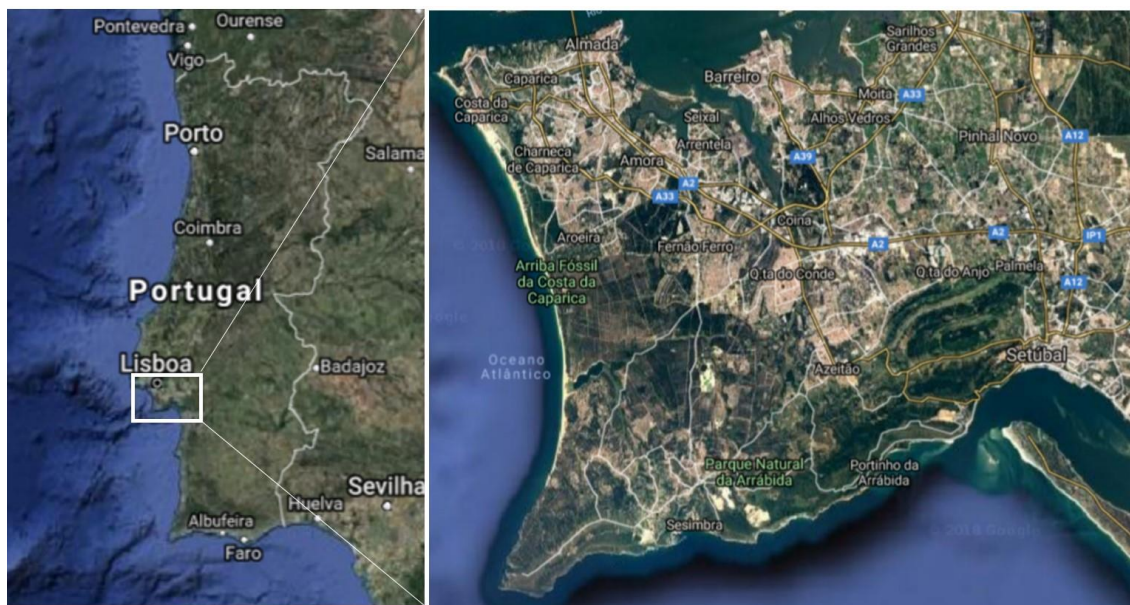
Não existe nenhum parâmetro relativo à concentração de microplásticos no efluente tratado, o único que se pode relacionar com a quantidade de microplásticos no efluente é o total de partículas sólidas em suspensão que é de carácter facultativo.

O Decreto-Lei n 108/2010 de 13 de outubro, que transpõem para a legislação nacional a Diretiva n 2008/56/CE, mais usualmente denominado como Diretiva-Quadro Estratégia Marinha, é o único decreto lei que estabelece planos de ação e monitorização ao lixo marinho presente na costa portuguesa e espaço marítimo, estando ainda a ser estudadas melhorias e alterações ao mesmo.

## 2 Metodologia

### 2.1 Estudo do caso

De forma a estudar o papel das ETAR no combate à entrada de microplásticos no meio aquático foram escolhidas quatro ETAR portuguesas pertencentes ao Sistema Multimunicipal de Saneamento de Águas Residuais da Península de Setúbal (SIMARSUL), **Figura 2.1**.



**Figura 2.1** - Localização da Península de Setúbal. Fotos tiradas pelo Google Earth.

#### 2.1.1 ETAR do Barreiro/Moita

##### *Caracterização da ETAR*

A ETAR do Barreiro/Moita, **Figura 2.2**, fornece tratamento à água residual recolhida nos subsistemas do Barreiro e da Moita incluído no sistema da SIMARSUL, e pode ser observado na **Figura 2.3**. No ano de 2017 a ETAR do Barreiro/Moita, tratou em média  $18384 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$  de água residual, o que corresponde a cerca de 134565 habitantes equivalentes. O afluente provém na sua grande maioria de efluente doméstico, no entanto, este ainda recebe uma significativa contribuição por parte de indústrias, destas a maior contribuição em caudal médio diário no ano de 2017, é feita pela Fisipe, indústria de produção de fibras têxteis ( $1919 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ ), pela AMARSUL, empresa de valorização e tratamento de resíduos sólidos ( $71 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ ) e pela AdP Fertilizantes Industrial, empresa de produção e comercialização de fertilizantes ( $56 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ ).





**Figura 2.2** - ETAR do Barreiro/Moita. ([www.simarsul.adp.pt](http://www.simarsul.adp.pt)).



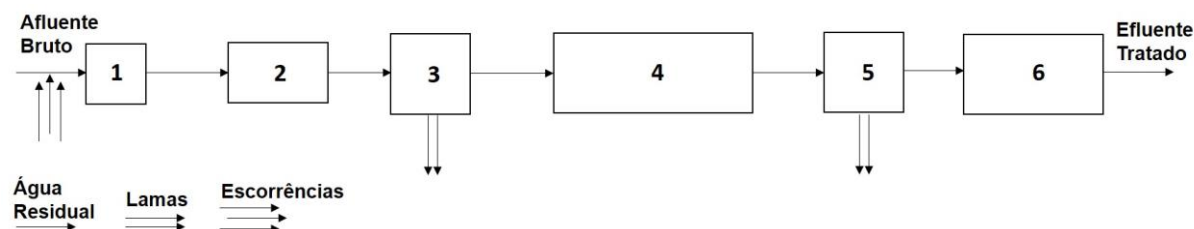
**Figura 2.3** - Subsistema do Barreiro/Moita com a ETAR e as EE. (As localizações das EE foram determinadas pelos nomes das mesmas de forma aproximada, podendo não corresponder à realidade. Imagem adaptada de uma foto tirada pelo Google Earth).

O decreto lei nº 152/97 de 19 de junho define um equivalente de população, ou habitante equivalente, como a carga orgânica biodegradável com um valor de carência bioquímica de oxigénio ao fim de cinco dias ( $CBO_5$ ) de 60 gramas de oxigénio por dia, este valor permite inferir acerca do número de habitantes a que corresponde a carga orgânica medida num efluente de água residual. Este permite converter as contribuições industriais em habitantes, facilitando os cálculos e apresentação de

valores e estimativas.

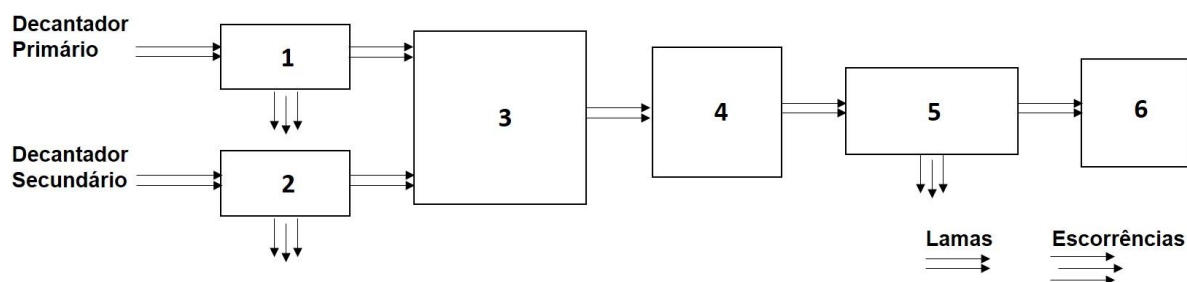
### **Tratamento na ETAR e na EE**

A ETAR do Barreiro/Moita está dividida em fase líquida e fase sólida. A **Figura 2.4** e a **Figura 2.5** mostram respetivamente os esquemas da fase líquida e da fase sólida.



**Figura 2.4** - Esquema da fase líquida da ETAR do Barreiro/Moita. (1) Grade grossa, Grade fina e Tamisador; 2) Desarenador/Desengordurador; 3) Decantador primário; 4) Reator biológico; 5) Decantador Secundário; 6) Desinfecção por UV).

A água residual na chegada à ETAR é sujeita a uma gradagem com uma grade grossa de malha 50 mm, uma gradagem com grade fina de malha 10 mm e um tamisador de malha 3 mm, de forma a remover os sólidos de maior dimensão presentes na água. De seguida, a água residual é sujeita a um processo de desarenação/desengorduração com a finalidade de proteger os órgãos e equipamentos da ETAR da ação das areias e das gorduras. Estas areias são, depois de removidas, sujeitas a um classificador de areias e depositadas em tanques para serem levadas a um destino final enquanto que as gorduras são concentradas por intermédio de um concentrador de gorduras, armazenadas num tanque e posteriormente enviadas para a digestão na fase sólida.



**Figura 2.5** - Esquema da fase sólida da ETAR do Barreiro/Moita. (1) Espessador gravítico; 2) Espessador mecânico; 3) Tanque de lamas mistas; 4) Digestor anaeróbio; 5) Desidratação; 6) Silo de lamas).

A água residual de seguida segue para o processo de decantação primária, neste caso através de decantação assistida por lamelas e adição de cloreto férrico, as escumas removidas juntam-se às gorduras e seguem para a fase sólida onde entram a montante do processo de digestão, enquanto que a lama primária originada da decantação é enviada para um espessador gravítico de forma a diminuir o teor em água das lamas sendo de seguida depositada num tanque de lamas mistas.

Após o tratamento primário, a água residual passa por um tratamento secundário, também conhecido por tratamento biológico, por intermédio de um reator biológico aeróbio e um decantador secundário.

As escumas removidas neste processo juntam-se às escumas removidas no tratamento primário e às gorduras removidas no pré-tratamento e seguem para o processo de digestão. As lamas originadas neste processo, designadas por lamas secundárias, são levadas para um espessador mecânico, mais concretamente um espessador mecânico de tambor rotativo com adição de polielectrólito para que, assim como com as lamas primárias, seja diminuído o seu teor em água antes de se juntar às lamas primárias num tanque de lamas mistas.

Depois do tratamento secundário a água residual é submetida a um tratamento terciário, que no caso da ETAR do Barreiro/Moita é uma desinfecção por radiação ultravioleta (UV), uma parte da água tratada é armazenada para uso próprio da ETAR, a restante é enviada para o meio recetor.

Na fase sólida as lamas originadas dos processos de tratamentos, assim como as gorduras e escumas, são sujeitas a tratamento de forma a reduzir o teor em água e estabilização das mesmas. Estes processos têm o objetivo de diminuir o custo de envio das lamas a destino final e promover o uso das mesmas.

As lamas primárias e secundárias são sujeitas a processos de espessamento, como anteriormente referido, antes de se juntarem num tanque de lamas mistas. De seguida estas lamas mistas, assim como as gorduras e escumas, são enviadas para uma estabilização biológica, por intermédio de um digestor anaeróbio. As lamas digeridas são enviadas para um tanque, enquanto que o biogás produzido é enviado depois de purificado para um grupo de cogeração, ou é queimado na tocha.

De seguida as lamas são submetidas a um processo de desidratação por centrifugas assistida com polielectrólito, de forma a conseguir reduzir ainda mais o teor em água das lamas, posteriormente é realizada uma estabilização química com a adição de cal. Depois destes processos a lama é armazenada num silo de lamas, para ser enviada para destino final.

A água removida nos processos de espessamento e desidratação das lamas retorna à cabeça da ETAR.

A ETAR do Barreiro/Moita possui ainda uma linha paralela de tratamento destinada às águas pluviais, com pré-tratamento, etapa de coagulação e floculação, decantação lamelar e desinfecção.

Todos os órgãos da linha de água e órgãos elevatórios possuem um mecanismo de *bypass*, para que em caso de necessidade, a água seja enviada directamente para o meio recetor, isto ocorre quando o caudal é superior aquele suportado pelo órgão, ou em caso de mau funcionamento do mesmo.

Os aditivos químicos utilizados pela ETAR do Barreiro/Moita nos processos de tratamento da água residual e da lama gerada são polielectrólito, cal e cloreto férrico.

As EE no sistema de transporte da água residual à ETAR do Barreiro/Moita, e os respetivos tratamentos a que a água residual é sujeita nestas, encontram-se descritos na **Tabela 2.1**.



**Tabela 2.1** - EE do sistema da ETAR do Barreiro/Moita e respectivo tratamento.

EE	Tratamento	EE	Tratamento
Pinhal das Formas	Gradagem média (20 mm)	Fonte da Prata	Gradagem média (20 mm)
Quintinha	Gradagem média (20 mm)	Recosta	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)
4 nova	Gradagem média (20 mm)	Rosário	Gradagem média (20 mm)
Alhos Vedros	Gradagem média (20 mm)	Vale do Grou	Gradagem média (20 mm)
Gaio	Gradagem média (20 mm)	Vinha das Pedras nova	Gradagem média (20 mm)
Lagoa da Pega	Gradagem média (20 mm)	Lavrado	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)
Miguel Pais	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)	Bento Gonçalves	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)
Moita Nova	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)	Palhais	Gradagem média (20 mm)

## 2.1.2 ETAR da Quinta do Conde

### *Caracterização da ETAR*

A ETAR da Quinta do Conde, (**Figura 2.6**), promove o tratamento da água residual recolhida no subsistema da Quinta do Conde incluído no sistema da SIMARSUL, e pode ser observado na **Figura 2.7**. Em média a ETAR da Quinta do Conde, no ano de 2017, tratou 6095 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de água residual, o que corresponde a cerca de 67760 habitantes equivalentes. O afluente provém maioritariamente de efluente doméstico sem contribuições industriais notáveis.



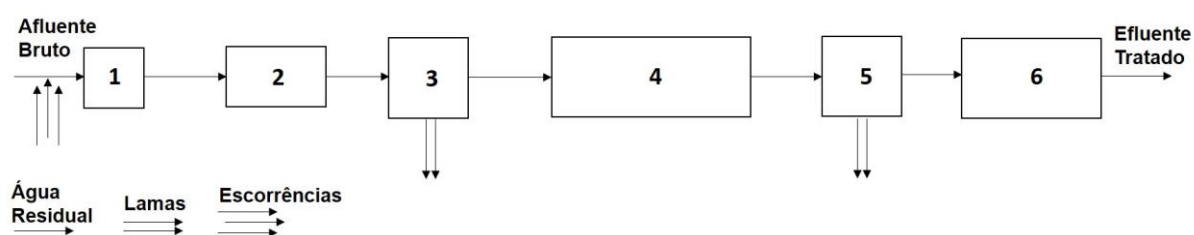
**Figura 2.6** - ETAR da Quinta do Conde. (www.simarsul.adp. pt).



**Figura 2.7** - Subsistema da Quinta do Conde com a ETAR e as EE. (As localizações das EE foram determinadas pelos nomes das mesmas de forma aproximada, podendo não corresponder à realidade. Imagem adaptada de uma foto tirada pelo Google Earth).

### **Tratamento na ETAR e na EE**

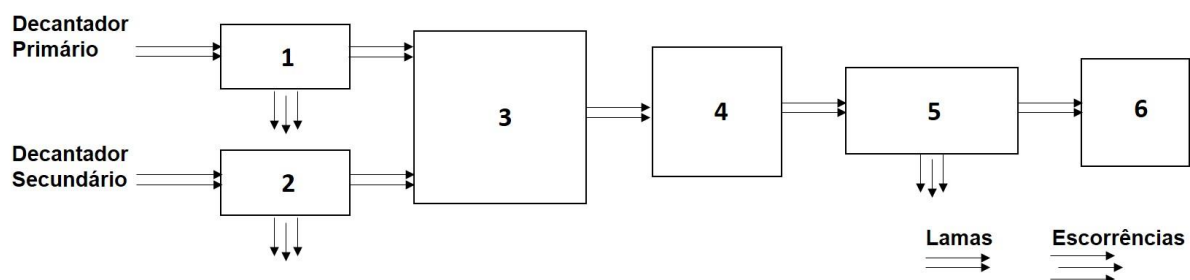
A ETAR da Quinta do Conde está dividida em fase líquida e fase sólida, a **Figura 2.8** e **Figura 2.9** mostram respetivamente esquemas da fase líquida e da fase sólida.



**Figura 2.8** - Esquema da fase líquida da ETAR da Quinta do Conde. (1) Grade grossa e Tamisador; 2) Desarenador/Desengordurador; 3) Decantador primário; 4) Reator biológico; 5) Decantador Secundário; 6) Desinfecção por UV.)

A água residual à chegada à ETAR é sujeita a uma gradagem com uma grade grossa de malha 50 mm, e um tamisador de malha 3 mm, de seguida é sujeita a um processo de desarenação/desengorduração. As areias, depois de removidas, são sujeitas a um classificador de areias e depositadas em tanques para serem levadas a um destino final enquanto que as gorduras são enviadas para a digestão na fase sólida.





**Figura 2.9** - Esquema da fase sólida da ETAR da Quinta do Conde. (1) Espessador gravítico; 2) Espessador mecânico; 3) Tanque de lamas mistas; 4) Digestor anaeróbio; 5) Desidratação; 6) Silo de lamas).

A água residual de seguida é conduzida para decantador primário. Neste caso, através de decantação assistida por lamelas, as escumas removidas juntam-se às gorduras e seguem para a fase sólida onde entram a jusante do processo de digestão, enquanto que a lama primária originada na decantação é enviada para um espessador gravítico sendo de seguida depositada num tanque de lamas mistas.

Após o tratamento primário, a água residual passa por um tratamento secundário, mais especificamente, um reator biológico anóxico/aeróbio e um decantador secundário, as escumas removidas neste processo juntam-se às escumas removidas no tratamento primário e às gorduras removidas no pré-tratamento e seguem para o processo de digestão. As lamas secundárias originadas neste processo, são levadas para um espessador mecânico, que na ETAR da Quinta do Conde é uma mesa de espessamento com adição de polielectrólito antes de se juntar às lamas primárias num tanque de lama mistas.

Depois do tratamento secundário a água residual é submetida a um tratamento terciário, que no caso da ETAR da Quinta do Conde é uma desinfecção por radiação ultravioleta (UV), uma parte da água tratada é armazenada para uso próprio da ETAR, a restante é enviada para o meio recetor.

As lamas primárias e secundárias são sujeitas a processos de espessamento, como anteriormente referido, antes de se juntarem num tanque de lamas mistas, às quais se juntam as gorduras e escumas concentradas. Esta lama mista é de seguida enviada para uma estabilização biológica, por intermédio de um digestor anaeróbio. As lamas digeridas são enviadas para um tanque, enquanto que o biogás produzido é enviado depois de purificado para um grupo de cogeração, ou é queimado na tocha.

De seguida as lamas são submetidas a um processo de desidratação por centrífugas assistida com polielectrólito. Depois destes processos a lama é armazenada num silo de lamas, para ser enviada para destino final.

As escorrências dos processos de espessamento e desidratação das lamas retornam à cabeça da ETAR.

Todos os órgãos da linha de água e órgãos elevatórios possuem um mecanismo de *bypass*, para que em caso de necessidade, a água seja enviada para o meio recetor.

As EE no sistema de transporte da água residual à ETAR da Quinta do Conde, e os respectivos

tratamentos a que a água residual é sujeita nestes, encontram-se descritos na **Tabela 2.2**.

**Tabela 2.2** - EE do sistema da ETAR da Quinta do Conde e respetivo tratamento.

EE	Tratamento	EE	Tratamento
Quinta do Conde	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)	Pinhal General	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)
Coina	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)	Santa Margarida	Gradagem grossa (50 mm)
Casal Sapo	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)		

### 2.1.3 ETAR de Fernão Ferro

#### *Caracterização da ETAR*

A ETAR de Fernão Ferro, **Figura 2.10**, providencia tratamento à água residual recolhida no subsistema de Fernão Ferro incluído no sistema da SIMARSUL, e pode ser observado na **Figura 2.11**. Em média a ETAR de Fernão Ferro, no ano de 2017, tratou  $2652 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$  de água residual, o que corresponde a cerca de 11399 habitantes equivalentes. O afluente provém maioritariamente de efluente doméstico com nenhuma contribuição industrial notável.



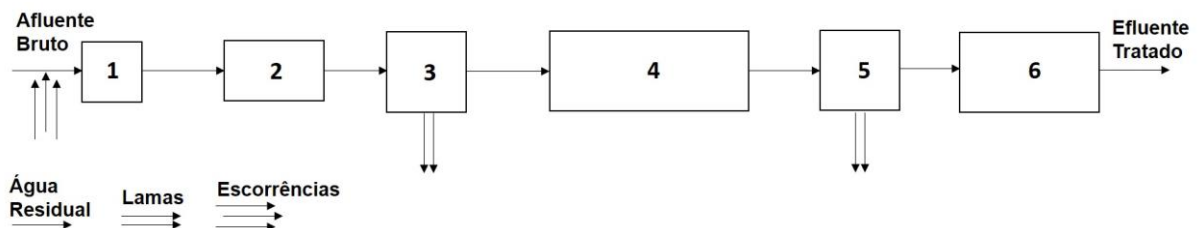
**Figura 2.10** - ETAR de Fernão Ferro.([www.simarsul.adp.pt](http://www.simarsul.adp.pt)).



**Figura 2.11** - Subsistema de Fernão Ferro com a ETAR e as EE. (As localizações das EE foram determinadas pelos nomes das mesmas de forma aproximada, podendo não corresponder à realidade. Imagem adaptada de uma foto tirada pelo Google Earth).

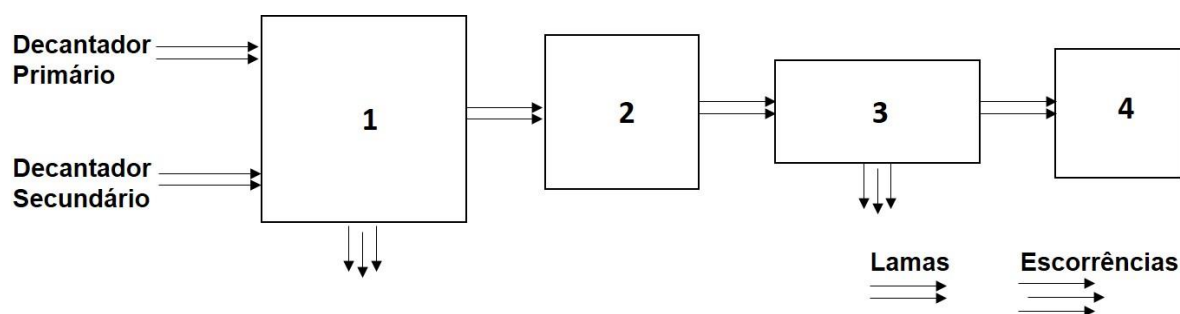
### ***Tratamento na ETAR e na EE***

A ETAR de Fernão Ferro está dividida em fase líquida e fase sólida, a **Figura 2.12** e **Figura 2.13** mostram respetivamente esquemas da fase líquida e da fase sólida.



**Figura 2.12** - Esquema da fase líquida da ETAR de Fernão Ferro. (1) Grade grossa e Tamisador; 2) Desarenador/Desengordurador; 3) Decantador primário; 4) Reator biológico; 5) Decantador Secundário; 6) Desinfecção por UV).

A água residual na chegada à ETAR é sujeita a uma gradagem com uma grade grossa de malha 50 mm, e um tamisador de malha 3 mm. De seguida é sujeita a um processo de desarenação/desengorduração, as areias depois de removidas são sujeitas a um classificador de areias e depositadas em tanques para serem levadas a um destino final enquanto que as gorduras são enviadas para a digestão na fase sólida.



**Figura 2.13** - Esquema da fase sólida da ETAR de Fernão Ferro . (1) Espessador gravítico; 2) Digestor anaeróbico; 3) Desidratação; 4) Silo de lamas).

A água residual de seguida segue para o processo de decantação primário, neste caso através de decantação gravítica, a lama primária originada da decantação é enviada para um espessador gravítico.

Após o tratamento primário, a água residual passa por um tratamento secundário mais especificamente, um reator biológico anóxico/aeróbio e um decantador secundário. As lamas secundárias originadas neste processo, são levadas para o espessador gravítico em conjunto com as lamas primárias, originando lamas mistas á entrada do mesmo.

Depois do tratamento secundário a água residual, é submetida a um tratamento terciário, que no caso da ETAR de Fernão Ferro é uma desinfecção por radiação ultravioleta (UV), uma parte da água tratada é armazenada para uso próprio da ETAR, a restante é enviada para o meio recetor.

As lamas primárias e secundárias são sujeitas a um processo de espessamento, como anteriormente referido, e depois de espessadas as lamas mistas juntam-se às gorduras e seguem para estabilização biológica, por intermédio de um digestor anaeróbico. O biogás produzido é queimado na tocha.

De seguida as lamas são submetidas a um processo de desidratação por centrífugas assistido com polieletrólito. Depois destes processos a lama é, se existir necessidade para tal, estabilizada quimicamente com cal e armazenada num silo de lamas, para ser enviada para destino final.

As escorrências dos processos de espessamento e desidratação das lamas retornam à cabeça da ETAR.

Todos os órgãos da linha de água e órgãos elevatórios possuem um mecanismo de *bypass*, para que em caso de necessidade, a água seja enviada para o meio recetor.

As EE no sistema de transporte da água residual à ETAR de Fernão Ferro, e os respetivos tratamentos preliminares aí existentes, encontram-se descritos na **Tabela 2.3**.

**Tabela 2.3** - EE do sistema da ETAR de Fernão Ferro e respectivo tratamento.

EE	Tratamento	EE	Tratamento
Redondos	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)	Flor da Mata	Gradagem grossa (50 mm) e Gradagem fina (10 mm)



## 2.1.4 ETAR da Lagoa/Meco

### Caracterização da ETAR

A ETAR da Lagoa/Meco, (**Figura 2.14**), trata a água residual recolhida no subsistema Lagoa/Meco do sistema da SIMARSUL e pode ser observada na **Figura 2.15**. No ano de 2017 a ETAR da Lagoa/Meco, tratou em média  $3538 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$  de água residual, o que corresponde a cerca de 20477 habitantes equivalentes. O afluente provém maioritariamente de efluente doméstico com nenhuma contribuição industrial significativa.



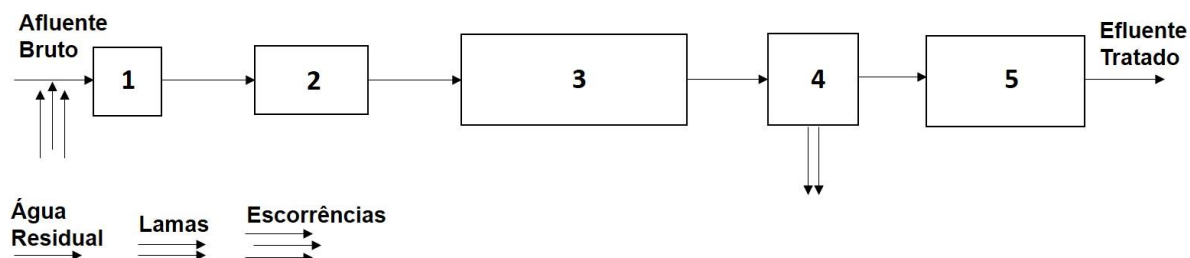
**Figura 2.14** - ETAR da Lagoa/Meco. ([www.simarsul.adp.pt](http://www.simarsul.adp.pt)).



**Figura 2.15** - Subsistema da Lagoa/Meco com a ETAR e as EE. (As localizações das EE foram determinadas pelos nomes das mesmas de forma aproximada, podendo não corresponder à realidade. Imagem adaptada de uma foto tirada pelo Google Earth).

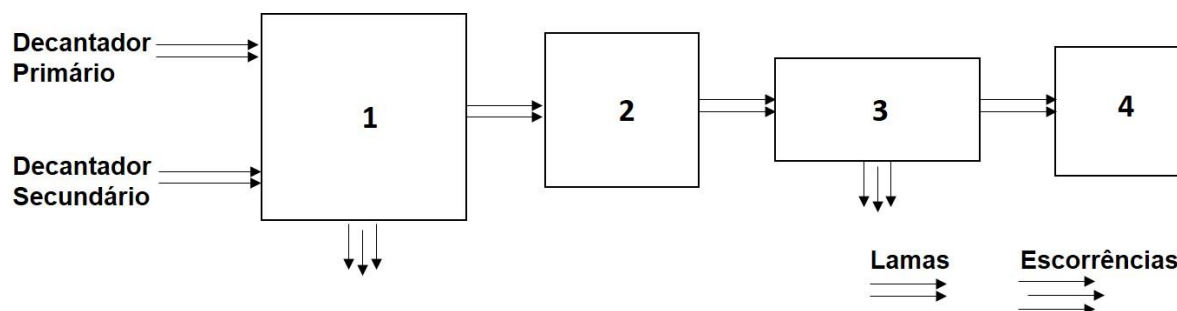
## Tratamento na ETAR e na EE

A ETAR da Lagoa/Meco está dividida em fase líquida e fase sólida, e a **Figura 2.16** e **Figura 2.17** mostram respetivamente esquemas da fase líquida e da fase sólida.



**Figura 2.16** - Esquema da fase líquida da ETAR da Lagoa/Meco. (1) Grade fina e Tamisador; 2) Desarenador/Desengordurador; 3) Reator biológico; 4) Decantador Secundário; 5) Desinfecção por UV.)

A água residual na chegada à ETAR é sujeita a uma gradagem com uma grade fina de malha 10 mm, e um tamisador de malha 3 mm. De seguida é sujeita a um processo de desarenação/desengorduração, as areias depois de removidas são sujeitas a um classificador de areias e depositadas em tanques para serem levadas a um destino final enquanto que as gorduras são enviadas para um reator biológico de gorduras, armazenadas e enviadas para destino final.



**Figura 2.17** - Esquema da fase sólida da ETAR da Lagoa/Meco . (1) Espessador gravítico; 2) Digestor anaeróbio; 3) Desidratação; 4) Silo de lamas.)

A ETAR da Lagoa/Meco funciona a baixa carga, logo dispensa tratamento primário, como tal a água residual passa imediatamente para um tratamento secundário, mais especificamente, um reator biológico anóxico/aeróbio e um decantador secundário. As lamas secundárias originadas neste processo, são levadas para um espessador gravítico enquanto que as escumas são reunidas com as gorduras do tratamento preliminar e enviadas para um digestor de gorduras.

Depois do tratamento secundário a água residual é submetida a um tratamento terciário, que no caso da ETAR da Lagoa/Meco é uma desinfecção por radiação ultravioleta (UV). Uma parte da água é depois filtrada em filtros fechados de areia para uso interno na ETAR, a restante é enviada para o meio recetor.

As lamas secundárias são sujeitas a um processo de espessamento, como anteriormente referido, e depois de espessadas as lamas seguem para um processo de desidratação por centrífugas auxiliado

com polielectrólito. Depois destes processos a lama é, se existir necessidade para tal, estabilizada quimicamente com cal e armazenada num silo de lamas, para ser enviada para destino final.

As escorrências dos processos de espessamento e desidratação das lamas retornam à cabeça da ETAR.

Todos os órgãos da linha de água e órgãos elevatórios possuem um mecanismo de *bypass*, para que em caso de necessidade, a água seja enviada para o meio recetor.

As EE no sistema de transporte da água residual à ETAR da Lagoa/Meco, e os respetivos tratamentos preliminares, encontram-se descritos na **Tabela 2.4**.

**Tabela 2.4** - EE do sistema da ETAR da Lagoa/Meco e respectivo tratamento.

EE	Tratamento	EE	Tratamento
Azóia	Gradagem média (20mm)	Fontainhas	Gradagem grossa (50 mm), Gradagem fina (10 mm) e Desarenamento
Serra da Azóia	Gradagem média (20 mm)	Aiana	Gradagem fina (10 mm)
Aldeia Nova	Gradagem média (20 mm)	Meco	Gradagem grossa (50 mm), Gradagem fina (10 mm) e Desarenamento
Pinheirinhos	Gradagem média (20 mm)	Lagoa de Albufeira	Gradagem grossa (50 mm), Gradagem fina (10 mm) e Desarenamento
Pinhal de Aiana	Gradagem média (20 mm)	Pinhal de Santo António	Gradagem fina (10 mm)
Amieira	Gradagem média (20 mm)	Zambujal de Baixo	Gradagem fina (10 mm)
Carrasqueira	Gradagem grossa (50 mm), Gradagem fina (10 mm) e Desarenamento	Santo António	Gradagem grossa (50 mm), Gradagem fina (10 mm) e Desarenamento

## 2.2 Amostragem e procedimento laboratorial

### 2.2.1 Recolha das amostras e conservação

Foram recolhidas amostras do afluente bruto, antes do tratamento preliminar, e do efluente tratado após todo o processo de tratamento.

As amostras recolhidas são compostas, recolhidas por um amostrador representado na **Figura 2.18** de forma automática, sendo representativas de 24 horas de funcionamento da ETAR. O amostrador recolhe uma porção de volume constante em intervalos de tempo predefinidos no mesmo local durante 24 horas.

As amostras foram recolhidas nos seguintes dias:

- Dia 30 de Março de 2017 – Recolha de amostras de afluente bruto e efluente tratado das ETAR do Barreiro/Moita e da Quinta do Conde;
- Dia 18 de Maio de 2017 – Recolha de amostras de afluente bruto e efluente tratado das ETAR da Lagoa/Meco e de Fernão Ferro;
- Dia 19 de Outubro de 2017 – Recolha da segunda amostra de afluente bruto e efluente tratado das ETAR do Barreiro/Moita e de Fernão Ferro;
- Dia 1 de Fevereiro de 2018 – Recolha da terceira amostra de afluente bruto e efluente tratado das ETAR do Barreiro/Moita e de Fernão Ferro.



**Figura 2.18** - Amostrador para recolha de amostras compostas. (Frazão, 2015).

As amostras de afluente e de efluente da mesma ETAR foram sempre recolhidas no mesmo intervalo de 24 horas, 2 litros de efluente tratado e 1 litro de afluente bruto. Estas foram recolhidas em recipientes de plástico, (**Figura 2.19**).



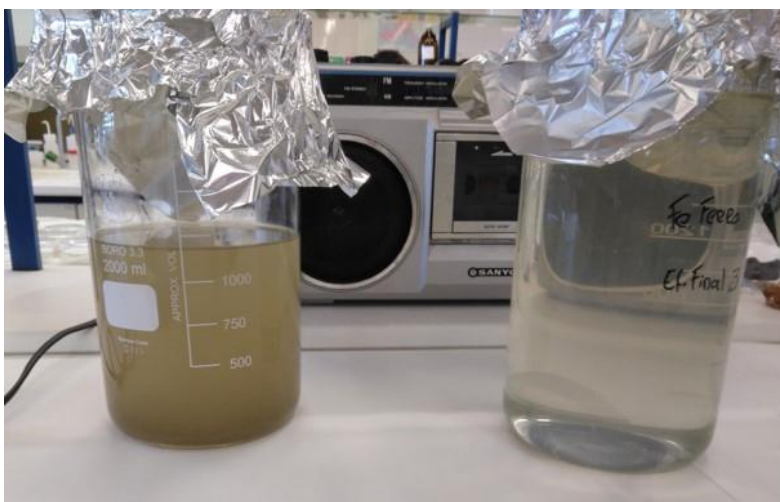


**Figura 2.19** - Recipientes de plástico onde as amostras foram recolhidas e transportadas. (À esquerda encontra-se o recipiente de 1 Litro destinado à amostra de afluente enquanto que à direita se encontra o recipiente de 2 Litros destinado à amostra de efluente.)

As amostras de dia 30 de março e de 18 de maio não foram imediatamente processadas, como tal, de forma a garantir que estas estivessem sem alterações na altura em que iriam ser processadas estas foram congeladas numa arca congeladora. Previamente à filtração as amostras foram descongeladas e foram adicionados 10 ml de formol às mesmas, as restantes como foram processadas pouco tempo a seguir á recolha foram somente refrigeradas numa arca frigorifica e não foi adicionado formol.

### 2.2.2 Filtração

As amostras foram colocadas em gobelés de 2 L de vidro de borossilicato da marca VWR, o gobelé foi coberto logo de seguida com folha de papel de alumínio de forma a prevenir contaminação por fibras possivelmente existentes no ar, e deixada a decantar durante 24 horas, como pode ser observado na **Figura 2.20**.



**Figura 2.20** - Amostras de afluente bruto, à esquerda, e de efluente tratado, à direita, em gobelés de 2 litros devidamente cobertos com folhas de papel de alumínio.

Posteriormente a amostra foi filtrada através de um sistema de filtração a vácuo, **Figura 2.21**, com os seguintes constituintes:

- Bomba de sucção a vácuo da marca Millipore 220 V/50 Hz, modelo WP6122050;
- Frasco de três tubuladores de 1000 ml da marca Schott Duran;
- Kitasato de 1000 ml da marca Schott Duran;
- Três copos de filtração de 250 ml da marca Millipore;
- Três molas;
- Três placas porosas de filtração da marca Millipore;
- Rampa de filtração;
- Pinça;
- Três provetas de 100 ml  $\pm$  0,5 ml da marca Linex.



**Figura 2.21** - Materiais utilizados no processo de filtração. I) sistema de filtração, II) Bomba de filtração a vácuo.

A amostra foi filtrada com filtros de microfibra de vidro da marca Whatman categoria GF/C com diâmetro de 47 mm, espessura de 260  $\mu$ m e porosidade 1,2  $\mu$ m. Os filtros, depois da filtração foram armazenados em caixas de Petri individuais de vidro, como mostra a **Figura 2.22**. Foram filtrados 100 ml de amostra por filtro, doseados com provetas de 100 ml  $\pm$  0,5 ml até só restar, no caso do afluente bruto, a lama, tendo sempre o cuidado de tapar os copos de filtração e as provetas com folhas de papel de alumínio para evitar contaminações.



**Figura 2.22** – Filtros após a filtração armazenados em caixas de Petri individuais.

De forma a prevenir a colmatção dos filtros e facilitar a observação à lupa da parcela de amostra mais carregada de sólidos e matéria orgânica, lama, esta foi tratada com duas metodologias diferentes.

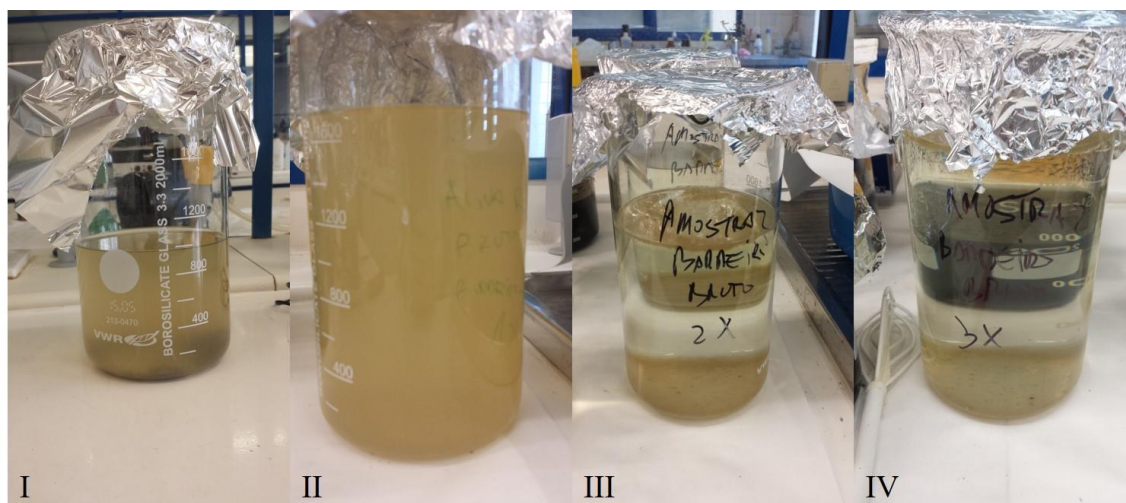
A primeira metodologia foi aplicada nas amostras de afluente bruto, mais concretamente na lama restante do processo inicial de filtração, das ETAR da Quinta do Conde e da Lagoa/Meco, assim como na primeira amostra das ETAR do Barreiro/Moita e Fernão Ferro. Esta consistiu na adição de um volume igual ao de lama restante na amostra, de solução saturada em NaCl de forma a aumentar a densidade da água resultando na flutuação dos micropásticos presentes na amostra, assim como, a diluição da lama. A amostra foi agitada até se tornar homogênea, deixada a decantar e de seguida filtrada como a primeira parte da mesma.

Como a observação à lupa dos filtros com a primeira metodologia era difícil foi aplicada uma segunda metodologia com o objetivo de reduzir a matéria orgânica nas lamas, e por consequência, facilitar a observação à lupa dos filtros.

A segunda metodologia foi aplicada na segunda e terceira amostras de afluente bruto das ETAR do Barreiro/Moita e Fernão Ferro. Esta consistiu na adição de uma solução de KOH a 10% de forma a digerir a matéria orgânica. Foi adicionado um volume de solução de KOH correspondente a duas vezes o volume de amostra, e de acordo com a metodologia descrita por Lusher et al (2016) a amostra com KOH foi deixada a digerir à temperatura ambiente durante 48 horas.

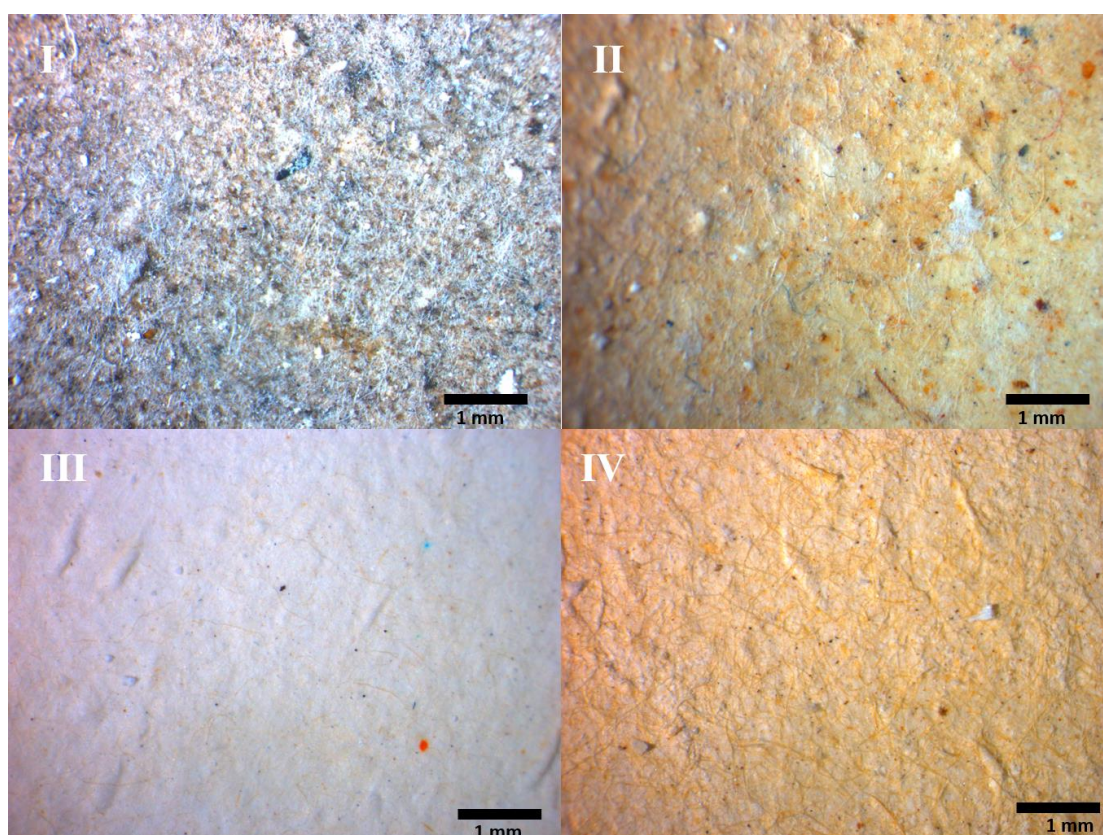
O volume ótimo de KOH a adicionar à amostra foi determinado laboratorialmente através de um ensaio em que foi adicionado diferentes volumes de KOH a amostras pontuais de afluente bruto da ETAR do Barreiro/Moita recolhidas para este propósito. Foram utilizadas 4 amostras de 1 litro de afluente bruto, às quais se adicionou uma vez o volume de solução de KOH, duas vezes o volume e três vezes o volume e uma amostra de controlo a que não foi adicionada a solução de KOH. Na **Figura 2.23** encontram-se as quatro amostras ao fim de 5 dias, enquanto que na **Figura 2.24** se encontram os filtros resultantes da filtração das diferentes amostras, com os diferentes volumes de KOH, observados à lupa.





**Figura 2.23** – Amostras de afluente bruto com diferentes volumes de solução de KOH ao fim de 5 dias de digestão. (I) Amostra sem solução de KOH; II) Amostra com uma vez o volume de KOH; III) Amostra com duas vezes o volume de KOH; IV) Amostra com três vezes o volume de KOH).

O resultado do ensaio mostrou que a adição de um volume de solução de KOH com duas vezes o volume da amostra garantia uma digestão superior à de uma vez o volume e igual à de três vezes o volume, mas com filtros menos colmatados e carregados do que aqueles com a adição de três vezes o volume.



**Figura 2.24** - Filtros dos testes de KOH. I) Amostra sem KOH; II) Amostra com 1x o volume em KOH; III) Amostra com 2x o volume em KOH; IV) Amostra com 3x o volume em KOH.

O controlo durante a etapa de filtração foi feito com filtros colocados em caixas de Petri próximos do sistema de filtração. No final da filtração estes filtros foram observados à lupa e as fibras encontradas foram registadas e descontadas às registadas na observação das amostras à Lupa.

A cada amostra filtrada correspondeu um filtro, e o número de fibras encontradas nos filtros de controlo nunca foi mais que três.

### 2.2.3 Observação das amostras

A observação dos filtros foi feita com uso de uma lupa da marca Leica modelo MZ 125, (**Figura 2.25**), com auxílio de uma fonte luminosa igualmente da marca Leica modelo cls 100x.

Os microplásticos encontrados na observação foram divididos em duas categorias, os fragmentos e as fibras. Estes foram posteriormente caracterizados por cor e dimensão para as diferentes ETAR, local de amostragem e metodologia aplicada ao afluente bruto.

Foi calculada a eficiência de remoção dos microplásticos para cada ETAR consoante o tipo e tamanho, esta foi calculada através da equação:

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{\text{Afluente bruto} - \text{Efluente tratado}}{\text{Afluente bruto}} \times 100$$



**Figura 2.25** - Lupa Leica MZ 125 utilizada na observação das amostras.

Depois de registados, os microplásticos foram fotografados com uma câmara da marca Leica modelo DFC 480 com auxílio do software IrfanView. Algumas amostras foram posteriormente recolhidas para serem sujeitas a análise FTIR.

O controlo foi feito com filtros brancos em caixas de Petri colocadas na proximidade da lupa. Os filtros em branco foram sempre examinados no final da observação de um filtro e as fibras encontradas descontadas às encontradas no filtro observado. O número mais elevado de fibras encontradas após a visualização de um filtro foi cinco.

#### **2.2.4 Identificação de microplásticos por análise FTIR (ATR)**

Uma seleção de microplásticos (fragmentos e fibras) representativos recolhidas na observação dos filtros à lupa foram analisadas por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) com um espectrômetro portátil FTIR da marca Agilent modelo 4300 em modo de reflectância total atenuada (ATR), com vista à determinação dos polímeros presentes.

#### **2.2.5 Tratamento estatístico**

Foram efetuados dois testes estatísticos aos resultados obtidos no que diz respeito à quantidade de microplásticos, fibras e fragmentos, para todas as ETAR. Os testes efetuados foram o teste de *Spearman* e o de *Kruskal-Wallis*. O tratamento estatístico foi realizado com o software *SPSS Statistics* da *IBM*.

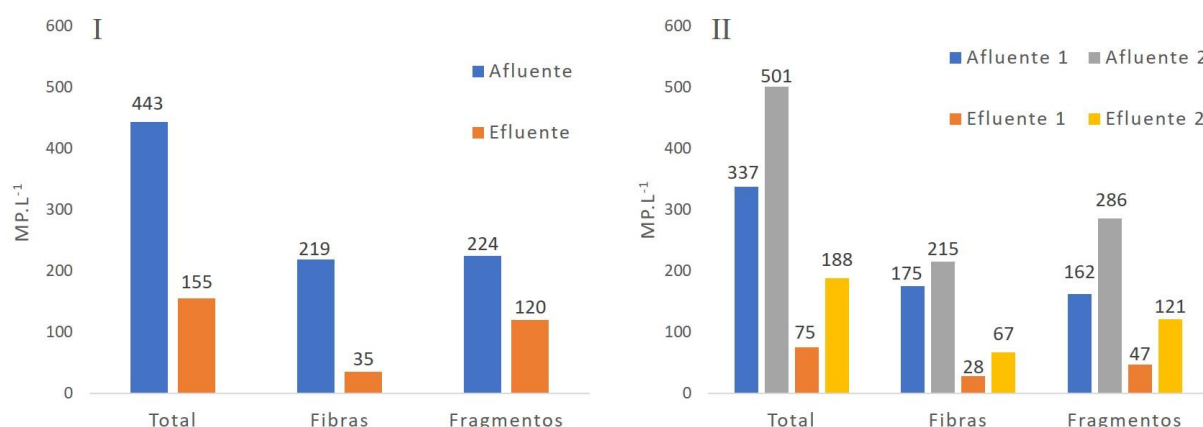
## 3 Resultados

### 3.1 ETAR do Barreiro/Moita

Nas amostras da ETAR do Barreiro/Moita foram aplicadas duas metodologias diferentes de tratamento laboratorial do afluente bruto, uma com NaCl (BN) e duas com KOH (BK1 e BK2). Os resultados nesta ETAR estão separados por metodologia utilizada no tratamento laboratorial do afluente bruto.

A **Figura 3.1** mostra a quantidade de microplásticos, fibras e fragmentos no afluente e efluente da ETAR para as diferentes amostras. Na amostra BN é possível observar que existe, para o afluente bruto, uma quantidade similar de fragmentos e fibras, enquanto que no caso do efluente tratado existe uma maior quantidade de fragmento que de fibras.

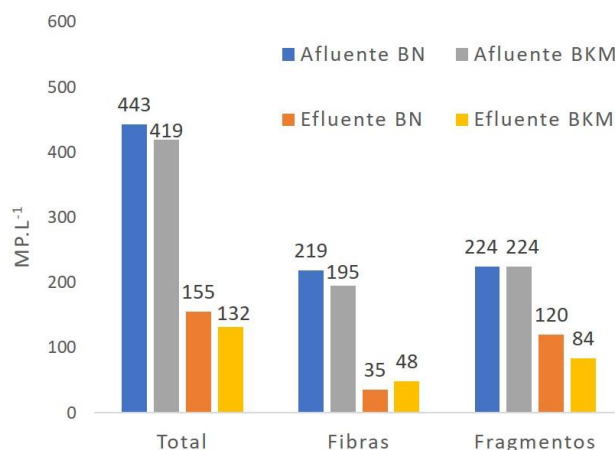
Na amostra BK2 observou-se um número maior de microplásticos comparativamente à BK1 tanto no afluente bruto como no efluente tratado, existindo em ambas as amostras e locais de amostragem uma maior quantidade de fragmentos que de fibras.



**Figura 3.1** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita. I) BN; II) BK1 e BK2.

Foram observados mais microplásticos na amostra BN, do que na média das amostras BK1 e BK2 (BKM), no entanto a diferença é pouco significativa. A quantidade de microplásticos, fragmentos e fibras, na amostra BN e na amostra BKM podem ser visualizados na **Figura 3.2**.

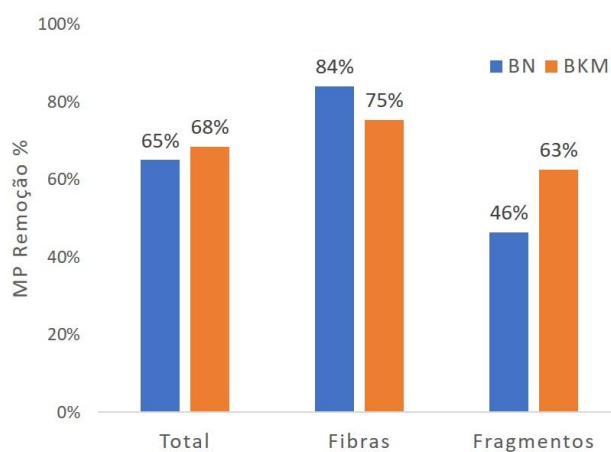
Como é possível verificar pela **Figura 3.2** a quantidade de microplásticos observados foi superior tanto para o afluente bruto, como para o efluente tratado na amostra BN, no entanto a quantidade de fibras observadas na amostra BKM no efluente tratado foi superior àquele observado na amostra de efluente tratado da amostra BN, existindo também uma quantidade igual de fragmentos no afluente bruto da amostra BN e na amostra BKM.



**Figura 3.2** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) das amostras BN e BKM no efluente e afluente da ETAR do Barreiro/Moita.

A eficiência de remoção de microplásticos, como observado na **Figura 3.3**, é ligeiramente superior na amostra BN que na amostra com BKM, estando ambas entre os 65% e os 70% de eficiência de remoção.

No caso das fibras existiu uma remoção superior na amostra BN, atingindo uma eficiência de remoção de fibras acima de 80%, em comparação com 75% na amostra BKM, no entanto no caso dos fragmentos a remoção foi superior na amostra BKM que na amostra BN, sendo que a amostra BKM chegou aos 60%, enquanto que a amostra BN ficou pelos 40%.



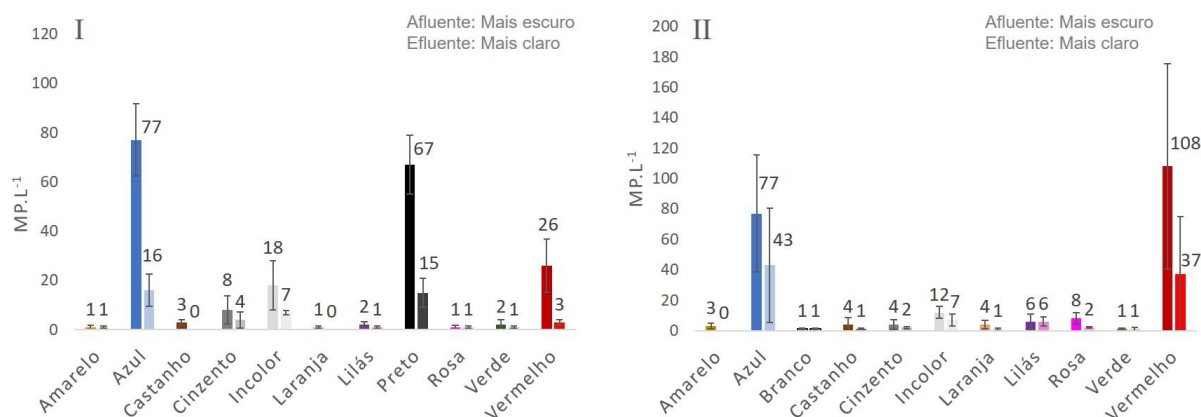
**Figura 3.3** - Eficiência de remoção de microplásticos (fibras e fragmentos) nas amostras BN e BKM da ETAR do Barreiro/Moita.

No que se refere à cor das fibras e dos fragmentos, apresentadas na **Figura 3.4**, os valores são a média dos resultados das três amostras analisadas para esta ETAR. As barras de erro presentes na **Figura 3.4** e **Figura 3.17** foram calculadas através da seguinte equação:

$$Erro = \frac{Desvio\ padrão}{\sqrt{2}}$$



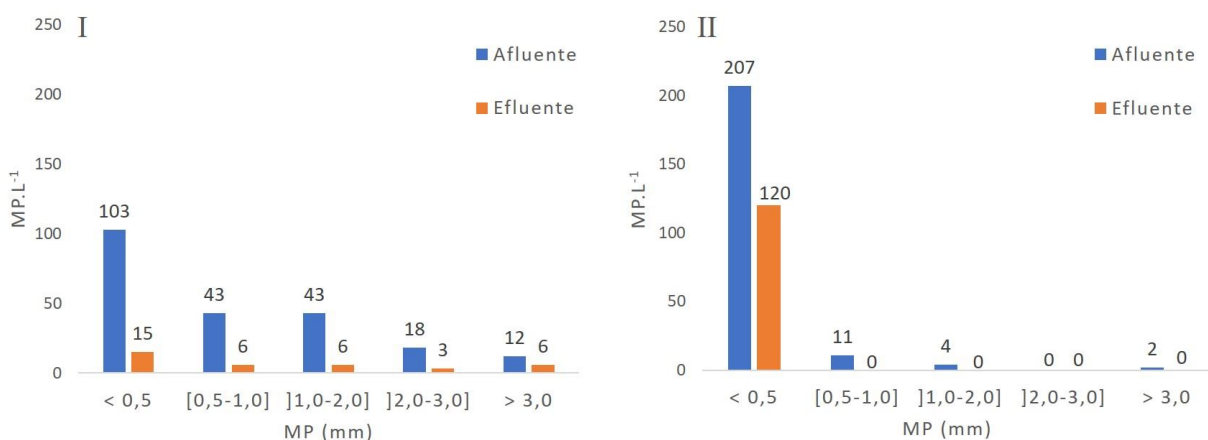
É possível verificar que nas fibras existe uma predominância do azul e do preto, e um contributo assinalável do vermelho e do incolor, tanto para o afluente bruto, como para o efluente tratado, enquanto que o vermelho e o azul dominaram os fragmentos observados, existindo ainda algumas partículas incolores, lilás e rosa.



**Figura 3.4** - Quantidade de microplásticos por cor, no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita. I) Fibras; II) Fragmentos.

A **Figura 3.5** mostra a quantidade de fibras e fragmentos encontrados por classe de tamanho para a amostra BN. No que diz respeito às fibras do afluente bruto, é possível verificar que existe uma diminuição na quantidade de fibras consoante o aumento da classe de tamanho. No efluente tratado a quantidade de fibras é superior na classe de tamanho inferior a 0,5 mm e igual nas restantes classes, exceto na classe entre 2 e 3 mm onde a quantidade de fibras é a mais reduzida.

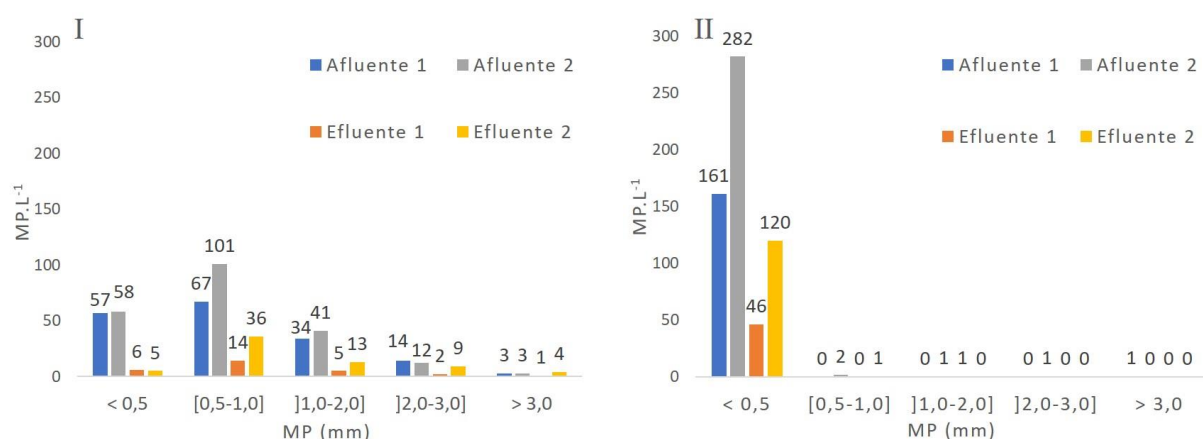
No caso dos fragmentos, estes pertencem na sua grande maioria à classe de tamanho inferior a 0,5 mm tanto para o afluente bruto como para o efluente tratado, havendo alguns casos de fragmentos no afluente bruto nas restantes classes, ao contrário do verificado no efluente tratado.



**Figura 3.5** - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, para a amostra BN. I) Fibras; II) Fragmentos.

Em relação às amostras BK1 e BK2, cujos resultados se encontram na **Figura 3.6**, é possível observar que no afluente bruto de ambas as amostras as fibras estão presentes em maior quantidade nas classes de tamanho inferiores a 2 mm que nas classes de tamanho superior ao mesmo valor, tendo sido o valor mais elevado verificado no intervalo entre 0,5 mm e 1mm. No efluente tratado, ambas as amostras seguem uma distribuição semelhante à do afluente bruto, mas em muito menor quantidade, no entanto a segunda amostra apresenta quantidades superiores à da primeira amostra em todas as classes de tamanho exceto na classe de menor dimensão.

Os fragmentos para ambas as amostras, tanto no afluente como no efluente, apresentam dimensões inferiores a 0,5 mm existindo um número reduzido de fragmentos nas outras classes de tamanho.



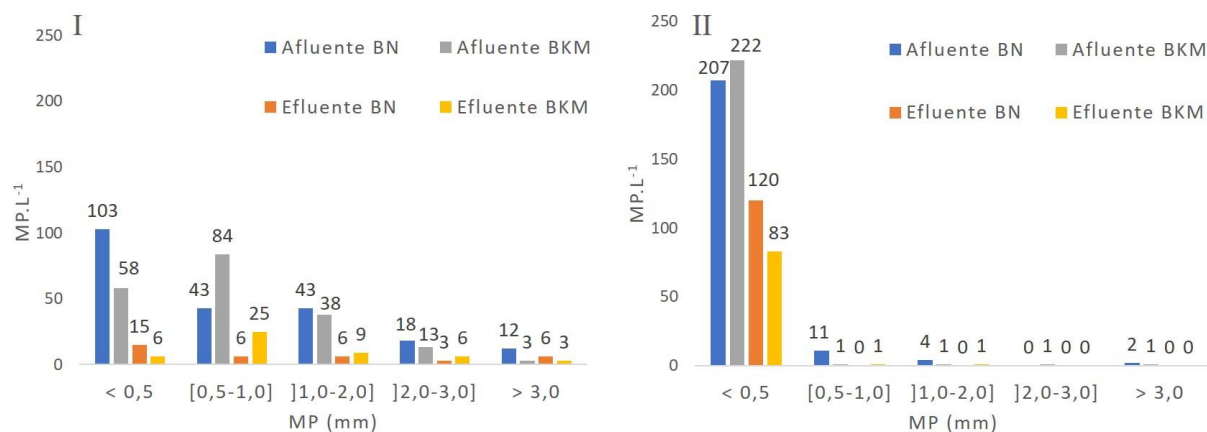
**Figura 3.6** - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, para as amostras BK1 e BK2. I) Fibras; II) Fragmentos.

A **Figura 3.7** permite comparar as fibras e fragmentos encontrados na amostra BN com os encontrados na amostra BKM.

Em relação às fibras presentes no afluente bruto, os resultados da amostra BN apresentam valores superiores às dos resultados da amostra BKM em todas as classes de tamanho, exceto na classe entre 0,5 mm e 1 mm, enquanto que no efluente tratado a amostra BN só obteve valores superiores ao da amostra BKM na classe de tamanho inferior a 0,5 mm e na classe de tamanho superior a 3 mm.

No caso dos fragmentos a amostra BKM no afluente bruto obteve valores mais elevados na classe de tamanho mais reduzida comparativamente à amostra BN. No entanto os resultados invertem-se no efluente tratado, apesar de assim como no afluente bruto os fragmentos observados pertencerem na sua grande maioria à classe de tamanho mais reduzida, nesta a amostra BN obteve uma quantidade de fragmentos superior ao da amostra BKM.

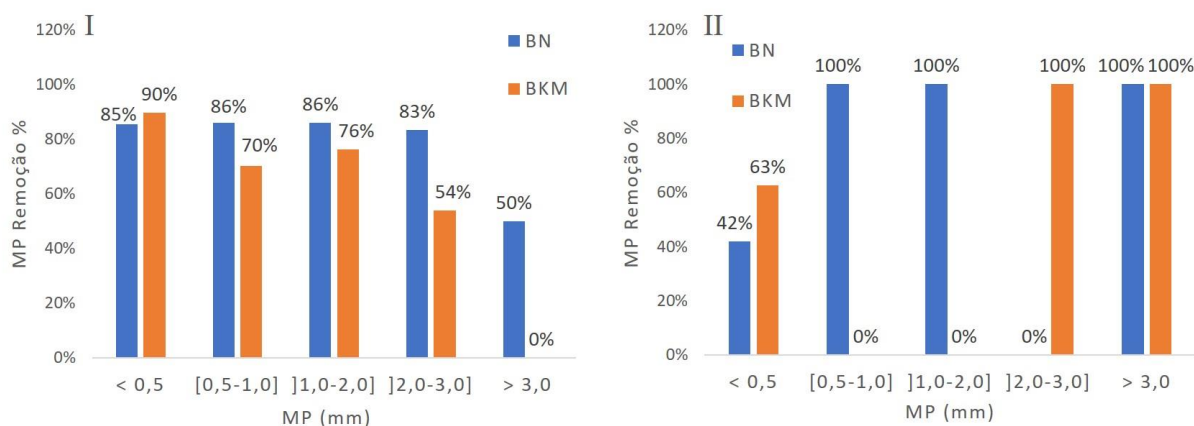
A média de tamanho dos fragmentos na classe de tamanho inferior a 0,5 mm foi de 50  $\mu$ m, sendo 12,5  $\mu$ m a dimensão mais baixa medida. Nas fibras a dimensão mais baixa verificada foi de 75  $\mu$ m.



**Figura 3.7** - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita para as amostras BN e BKM. I) Fibras; II) Fragmentos.

É possível constatar pela **Figura 3.8** que em relação às fibras a remoção apresenta valores acima dos 50% em todas as classes de tamanho exceto na amostra BKM na classe de maior dimensão em que não ocorreu remoção. No caso da amostra BN, observou-se uma remoção superior a 80% em todas as classes de tamanho, exceto na classe de tamanho superior a 3 mm em que a remoção foi de 50%. A amostra BN apresentou eficiências de remoção superiores às da amostra BKM em todas as classes de tamanho, exceto na classe de tamanho inferior a 0,5 mm em que a amostra BKM apresentou uma eficiência de remoção de 90%.

Os fragmentos, na amostra BN foram totalmente removidos exceto os de menor dimensão em que a remoção foi inferior a 50% e no intervalo entre 2mm e 3mm em que a remoção foi nula, enquanto que na amostra BKM existiu remoção total dos fragmentos acima dos 2 mm, não existiu remoção nas classes de tamanho entre 0,5 mm e 2 mm. Os fragmentos de dimensão inferior a 0,5 mm obtiveram uma eficiência de remoção mais elevada na amostra BK, com um valor superior a 60%, que na amostra BN, cuja eficiência de remoção não chegou aos 50%.

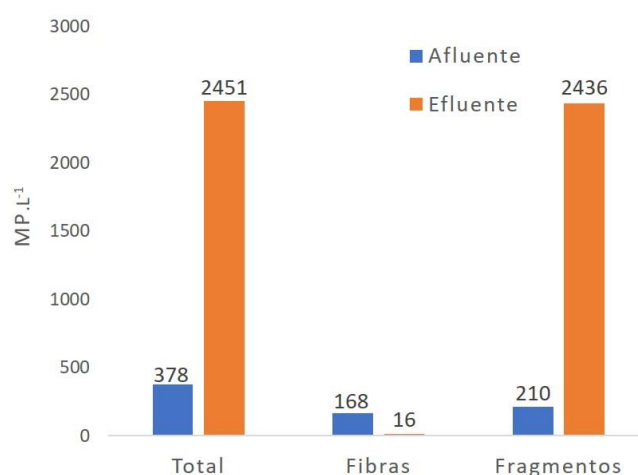


**Figura 3.8** - Eficiência de remoção por tamanho para a ETAR do Barreiro/Moita e para as amostras BN e BKM . I) Fibras; II) Fragmentos.

### 3.2 ETAR da Quinta do Conde

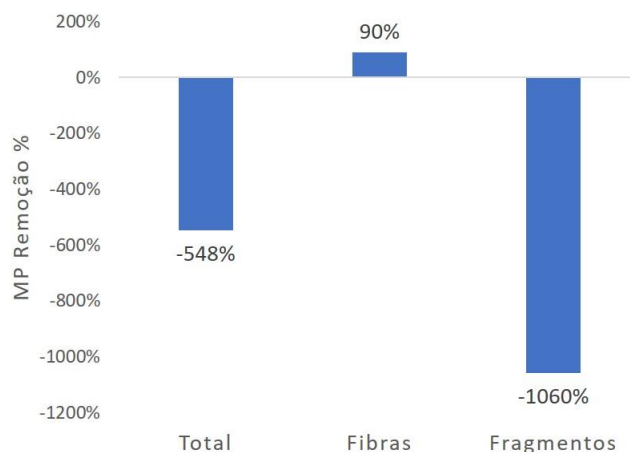
Na amostra da ETAR da Quinta do Conde foi utilizado NaCl para o tratamento laboratorial do afluente bruto. No caso da ETAR da Quinta do Conde, só foi analisada uma amostra.

Na ETAR da Quinta do Conde observou-se uma grande quantidade de fragmentos azuis de pequenas dimensões na amostra de efluente tratado, este número foi muito superior ao número de fragmentos encontrados no afluente bruto da mesma ETAR, e a qualquer outra amostra analisada. Na **Figura 3.9** encontra-se a quantidade de fibras e fragmentos observados nesta ETAR, e como é possível constatar a quantidade de fragmentos no efluente tratado é superior à do afluente bruto, no entanto em relação às fibras é possível verificar que existem mais no afluente bruto do que no efluente tratado.



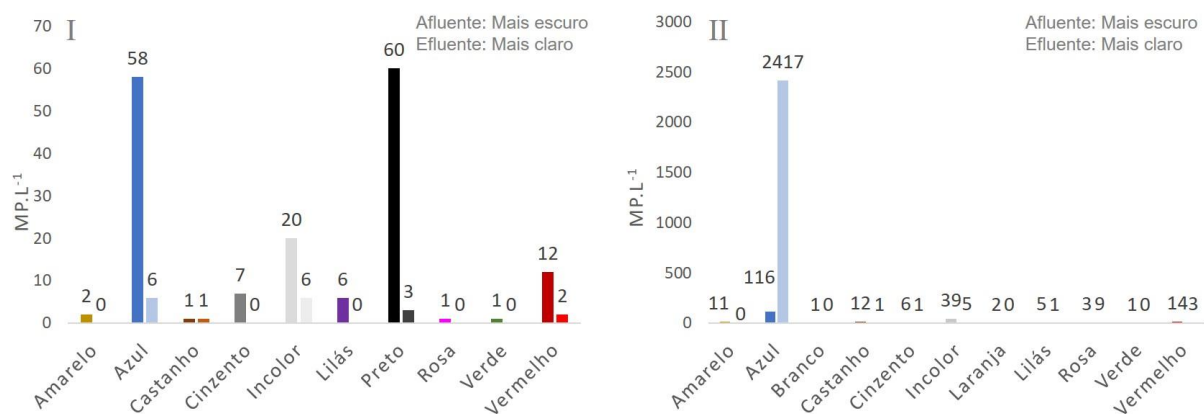
**Figura 3.9** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde.

A eficiência de remoção de microplásticos na ETAR da Quinta do Conde pode ser observada na **Figura 3.10**. De acordo com os dados obtidos na análise da amostra ao invés de remover, a ETAR da Quinta do Conde contribuiu para a emissão de microplásticos para o meio aquático. Devido ao valor elevado de fragmentos encontrados no efluente tratado, a eficiência de remoção de microplásticos nesta ETAR é negativa, mais concretamente a ETAR da Quinta do Conde contribuiu em 548% para a quantidade de microplásticos, sendo que nos fragmentos existiu um aumento de 1060% sendo atenuado pela remoção de 90% das fibras.



**Figura 3.10** - Eficiência de remoção de microplásticos (fibras e fragmentos) para a ETAR da Quinta do Conde.

Em relação à cor, tanto as fibras como os fragmentos possuem uma grande variedade de cores. Na **Figura 3.11** é possível observar que nas fibras se destacam o preto, o azul e o incolor tanto para o afluente bruto como para o efluente tratado. A nível de fragmentos, estes são na grande maioria de cor azul, existindo no caso do afluente bruto, ainda contributos significativos de microplásticos incolores, vermelhos e amarelos.

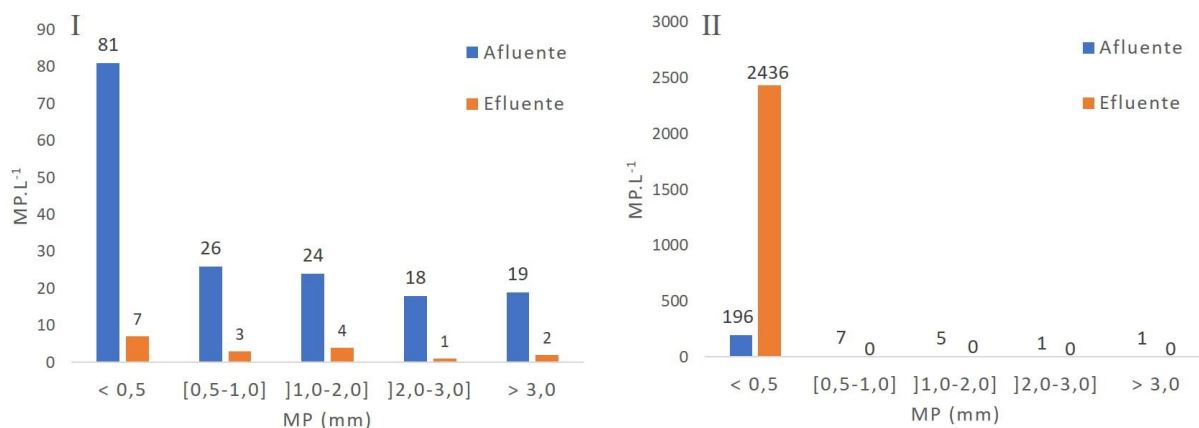


**Figura 3.11** - Quantidade de microplásticos por cor, no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde. I) Fibras; II) Fragmentos.

A **Figura 3.12** mostra as dimensões das fibras e fragmentos encontrados, na qual é possível verificar que as fibras, tanto para o afluente bruto como para o efluente tratado, apresentam uma maior representatividade nas classes de tamanho inferior a 0,5 mm, onde a menor fibra registada media 50  $\mu$ m. Nas restantes classes não existiu uma discrepância significativa na quantidade de fibras observadas, no entanto existiu um pequeno decréscimo na quantidade com o aumento do tamanho. Na classe de tamanho superior a 3 mm registaram-se mais fibras que na categoria anterior, sendo a situação no efluente tratado semelhante à do afluente bruto, mas em menor escala.

Em relação aos fragmentos, estes estão concentrados na classe de tamanho inferior a 0,5 mm

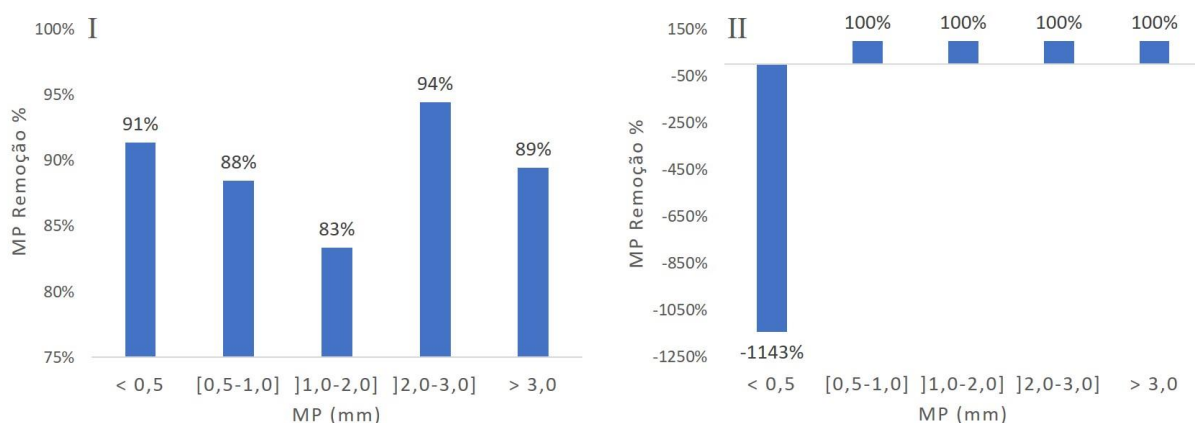
existindo, porém, alguns fragmentos registrados nas outras classes de tamanho, mas em muito menor quantidade que na classe de tamanho mais reduzida, sendo o caso semelhante tanto para o afluente bruto como para o efluente tratado. A média dos fragmentos observados foi de 25  $\mu\text{m}$ , sendo o menor observado 12,5  $\mu\text{m}$ .



**Figura 3.12** - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde. I) Fibras; II) Fragmentos.

É possível constatar na **Figura 3.13** que em relação às fibras não existiu uma correlação entre as dimensões e a eficiência de remoção destas por parte da ETAR. A eficiência de remoção das fibras foi sempre superior a 80% em todas as classes de tamanho, das quais as classes de tamanho inferior a 0,5 mm e entre os 2 mm e 3 mm atingiram uma remoção acima dos 90%.

No caso dos fragmentos, existiu remoção total em todas as classes de tamanho exceto na classe de tamanho inferior a 0,5 mm onde foi observado um aumento muito significativo na quantidade de fragmentos encontrados no efluente tratado, relativamente aos encontrados no afluente bruto, como tal o valor de eficiência nesta categoria é negativo atingindo o valor de 1143%.



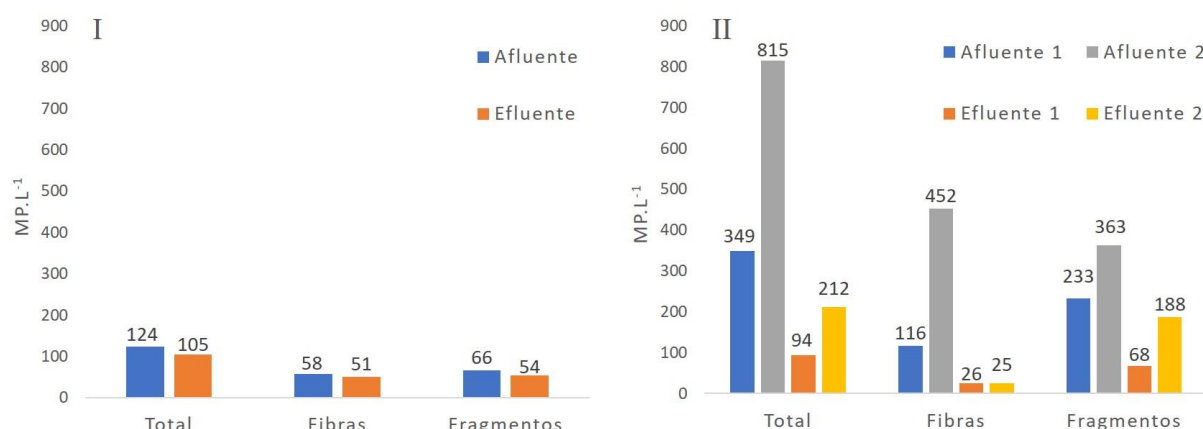
**Figura 3.13** - Eficiência de remoção por tamanho para a ETAR da Quinta do Conde. I) Fibras; II) Fragmentos.

### 3.3 ETAR de Fernão Ferro

Nas amostras da ETAR de Fernão Ferro à semelhança da ETAR do Barreiro/Moita foram efetuadas duas diferentes metodologias de tratamento laboratorial do afluente bruto, uma com NaCl (FN) e duas com KOH (FK1 e FK2). Os resultados nesta ETAR estão separados por metodologia utilizada no tratamento laboratorial do afluente bruto.

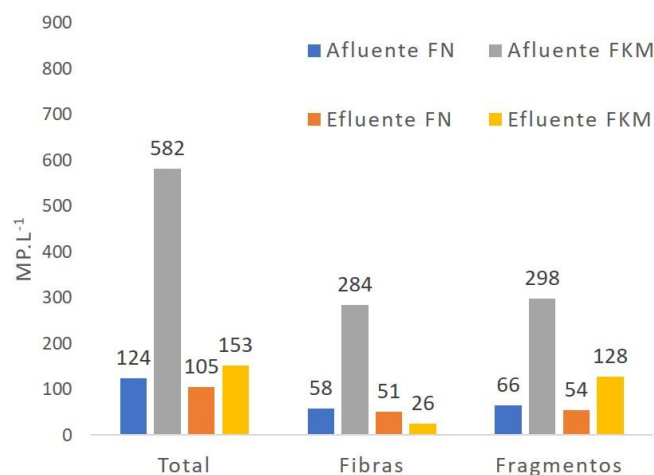
A **Figura 3.14** mostra a quantidade de microplásticos, fibras e fragmentos, no afluente e efluente da ETAR para as diferentes amostras. No caso da amostra FN, tanto no afluente bruto como no efluente tratado, a quantidade de fragmentos e fibras é semelhante, no entanto, tanto os fragmentos como as fibras ocorrem em número ligeiramente superior no afluente.

Nas amostras FK1 e FK2 foi possível observar que no afluente bruto, a amostra FK2 possui uma quantidade superior de microplásticos em relação à amostra FK1, sendo que na primeira amostra a quantidade de fragmentos é superior à de fibras, enquanto que na segunda amostra a quantidade de fibras é superior à de fragmentos. Nas duas amostras de efluente tratado foram registados mais fragmentos que fibras, no entanto a amostra FK2 registou uma porção superior de fragmentos e inferior de fibras em comparação com a amostra FK1.



**Figura 3.14** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos), no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro. I) FN; II) FK1 e FK2.

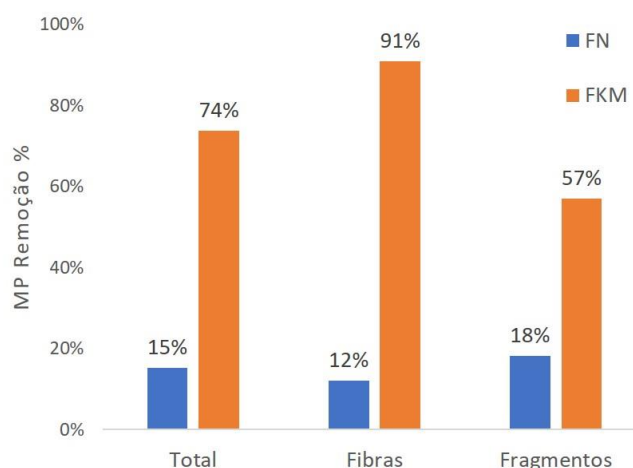
Como é possível observar através da **Figura 3.15** existe uma quantidade maior de fragmentos e fibras, tanto no afluente bruto como no efluente tratado da média das amostras FK1 e FK2 (FKM), comparativamente à amostra FN, sendo a diferença entre os efluentes de ambas, menor que a diferença entre os afluentes.



**Figura 3.15** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro para as amostras FN e FKM.

Relativamente à eficiência de remoção dos microplásticos, apresentada na **Figura 3.16**, esta é superior na amostra FKM, que na amostra FN. Na amostra FN a eficiência de remoção é sempre inferior a 20%, enquanto que, em contrapartida, a eficiência de remoção na amostra FKM é sempre superior a 50%.

No caso da amostra FKM o valor de eficiência de remoção para as fibras é superior a 90%. Nos fragmentos é possível observar uma eficiência de remoção ligeiramente inferior a 60%. Na amostra FN a eficiência de remoção das fibras é ligeiramente superior a 10% e a eficiência de remoção dos fragmentos é ligeiramente inferior a 20%.



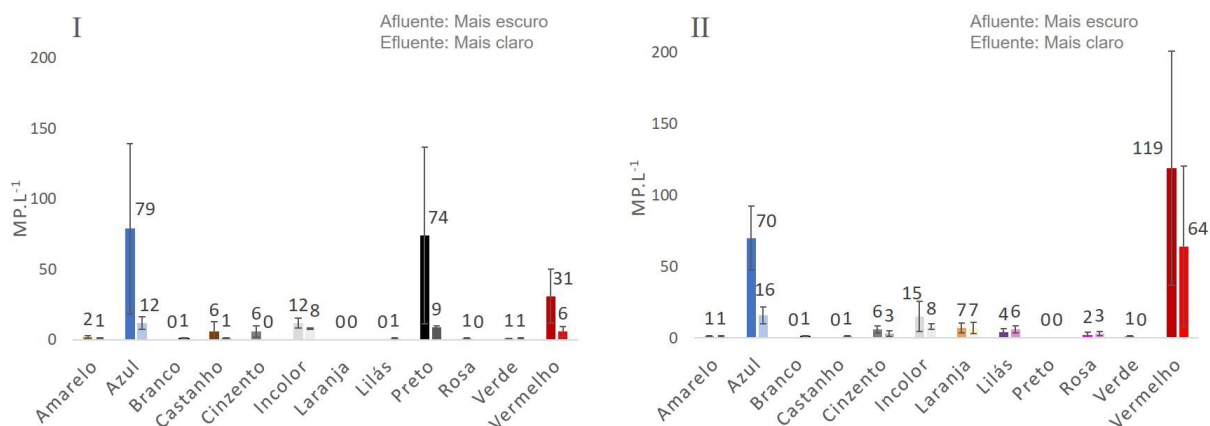
**Figura 3.16** - Eficiência de remoção de microplásticos (fibras e fragmentos) nas amostras FN e FKM da ETAR de Fernão Ferro.

A **Figura 3.17** mostra a quantidade de fibras e fragmentos observados por cor. Os valores são a média dos resultados das três amostras analisadas para esta ETAR.

Nas fibras, tanto no afluente como no efluente, as cores mais predominantes são o azul, preto e vermelho, existindo ainda contributos de outras cores onde se evidencia o incolor, castanho e



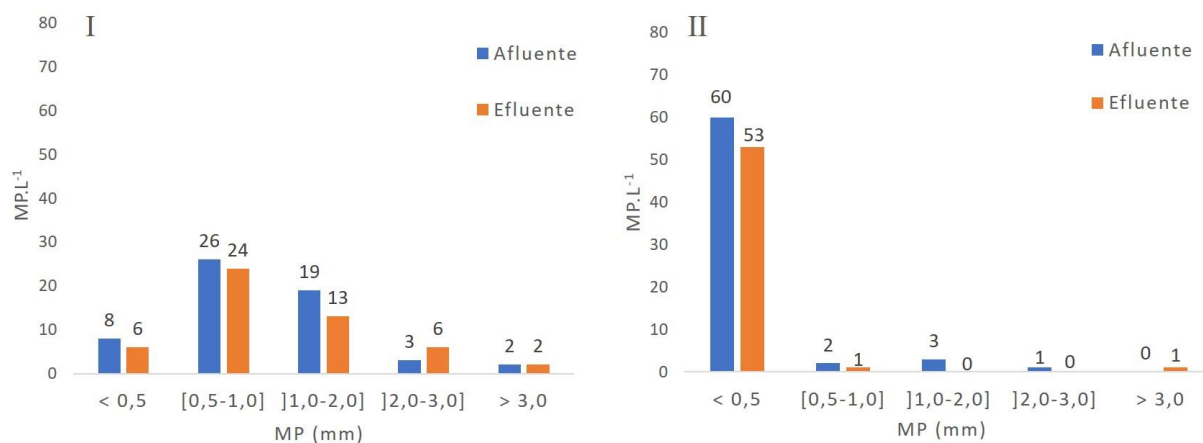
cinzento. Nos fragmentos do afluente e do efluente as cores em evidência foram o vermelho e o azul, existindo ainda um contributo menor por parte de outras cores como o incolor, o laranja e o lilás.



**Figura 3.17** - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro. I) Fibras; II) Fragmentos.

A **Figura 3.18** mostra a quantidade de fibras e fragmentos encontrados por classe de tamanho na amostra FN. É possível verificar que existem mais fibras nas classes de tamanho entre 0,5 mm e 2 mm do que nas restantes classes. Isto ocorre tanto no afluente como no efluente, no entanto existe uma maior quantidade no afluente que no efluente em todas as classes de tamanho exceto na classe de tamanho entre 2 mm e 3 mm.

No caso dos fragmentos, estes pertencem na sua grande maioria à classe de tamanho inferior a 0,5 mm, tanto para o afluente bruto como para o efluente tratado, existindo alguns casos de fragmentos no afluente bruto nas restantes classes, exceto na classe de tamanho superior a 3 mm.

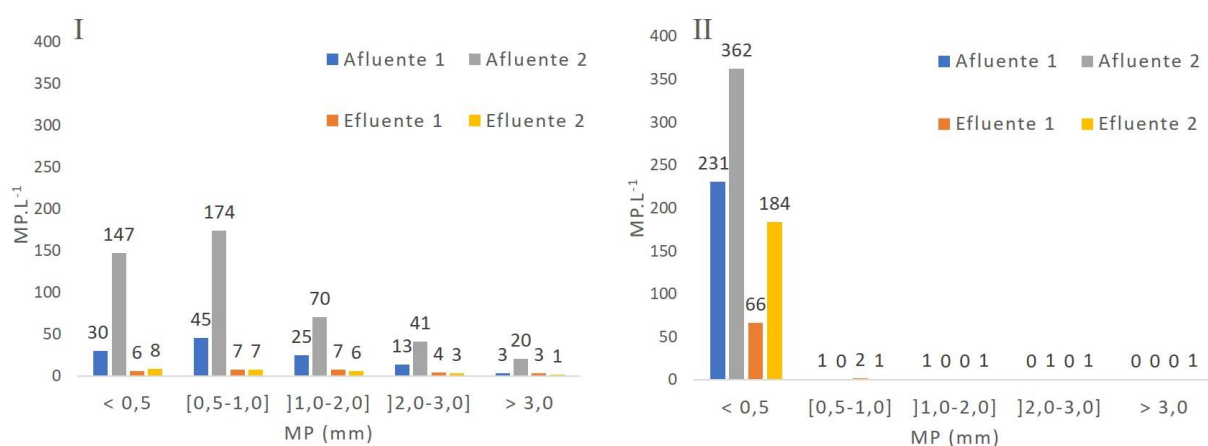


**Figura 3.18** - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, para a amostra FN. I) Fibras; II) Fragmentos.

Em relação às amostras FK1 e FK2, cujos resultados se encontram na **Figura 3.19**, é possível observar que no afluente de ambas as amostras, as fibras existem em maior quantidade nas classes

de tamanho inferior a 1 mm. A partir desta, a quantidade de fibras decresce com o aumento do tamanho das mesmas tendo sido a menor quantidade verificada na classe de tamanho superior a 3 mm, e a maior quantidade na classe de tamanho entre 0,5 mm e 1 mm. No efluente tratado, ambas as amostras seguem uma distribuição semelhante à do afluente bruto, no entanto ao contrário do que acontece no afluente bruto, em que a amostra FK2 apresenta uma quantidade superior à da amostra FK1, no efluente tratado existe uma quantidade semelhante de fibras nas duas amostras em todas as classes de tamanho.

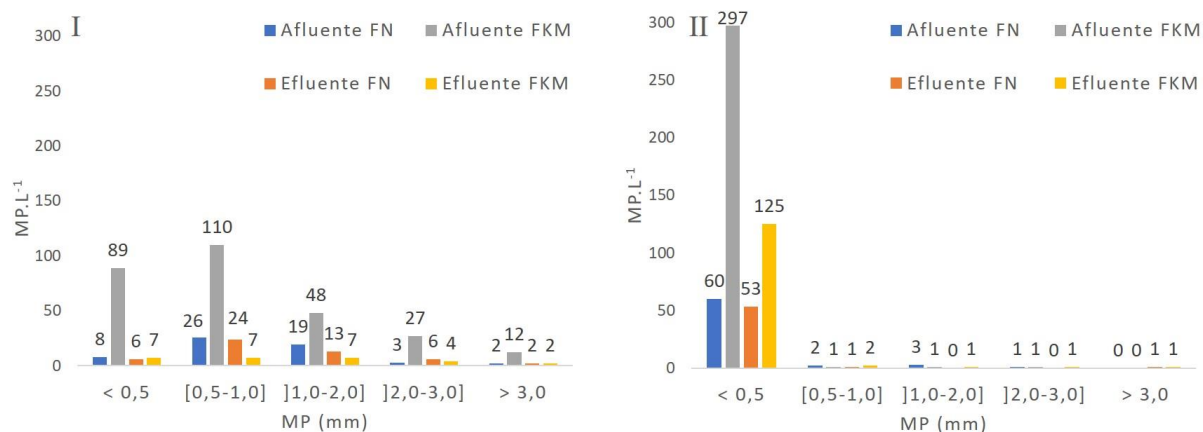
Os fragmentos para ambas as amostras, tanto no afluente como no efluente, encontram-se em muito maior quantidade na classe de tamanho menor que 0,5, existindo ainda um número reduzido de fragmentos nas restantes classes. A quantidade de fragmentos na amostra FK2 é superior à da amostra FK1 tanto no afluente como no efluente.



**Figura 3.19** - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro para as amostras FK1 e FK2. I) Fibras; II) Fragmentos.

A **Figura 3.20** permite comparar as dimensões das fibras e dos fragmentos encontrados nas amostras FN e FKM. Em relação às fibras no afluente, os resultados da amostra FN apresentam valores inferiores aos da amostra FKM em todas as classes de tamanho. Já no efluente, a amostra FKM só possui uma quantidade superior à da amostra FN nas classes de tamanho inferior a 0,5 mm, existindo também uma quantidade igual na classe de tamanho superior a 3 mm. Nas restantes classes a quantidade de fibras na amostra FN é superior ao da amostra FKM.

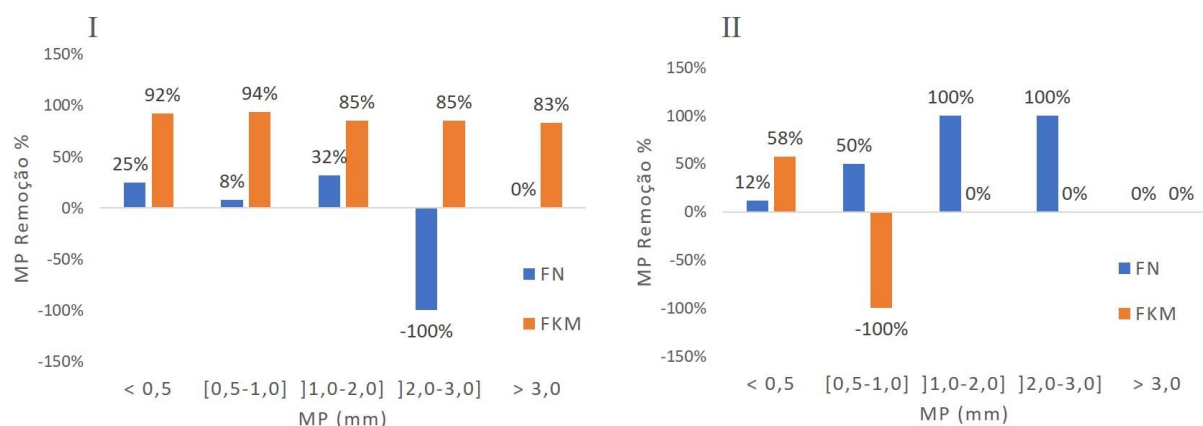
No caso dos fragmentos a amostra FKM, tanto no afluente como no efluente apresentou quantidades superiores às da amostra FN. A média de tamanho dos fragmentos na classe de tamanho inferior a 0,5 mm foi de 25 µm, sendo 12,5 µm a dimensão menor medida. Nas fibras a dimensão mais baixa verificada foi de 25 µm.



**Figura 3.20** - Quantidade de microplásticos por tamanho, no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro para as amostras FN e FKM. I) Fibras; II) Fragmentos.

É possível constatar na **Figura 3.21** que em relação às fibras a eficiência de remoção apresentou valores muito diferentes nas amostras FN e FKM. Na amostra FKM a eficiência de remoção foi sempre superior a 80%, chegando mesmo aos 90% na classe de tamanho entre 0,5 mm e 1 mm e na classe de tamanho inferior a 0,5 mm. Na amostra FN a eficiência de remoção nunca foi superior a 40%, tendo sido o valor de eficiência de remoção mais elevado, 32%, verificado na classe de tamanho entre 1 mm e 2 mm, nesta amostra não ocorreu remoção de fibras na classe de tamanho superior a 3 mm e ainda apresentou em vez de remoção, um incremento de 100% na classe de tamanho entre 2 mm e 3 mm.

Os fragmentos na amostra FKM, não apresentaram remoção nas classes de tamanho superior a 1 mm. Na classes de tamanho inferior a 0,5 mm e na classe de tamanho entre 0,5 mm e 1 mm ocorreu respetivamente, uma remoção de 58% e um incremento de 100%. Na Amostra FN, foi registado uma remoção total nas classes de tamanho entre 1 mm e 3 mm, não existindo remoção na classe de tamanho superior a 3 mm. As classes de tamanho inferior a 0,5 mm e entre 0,5 mm e 1 mm, apresentaram, respetivamente, valores de eficiência de remoção de 12% e 50%.

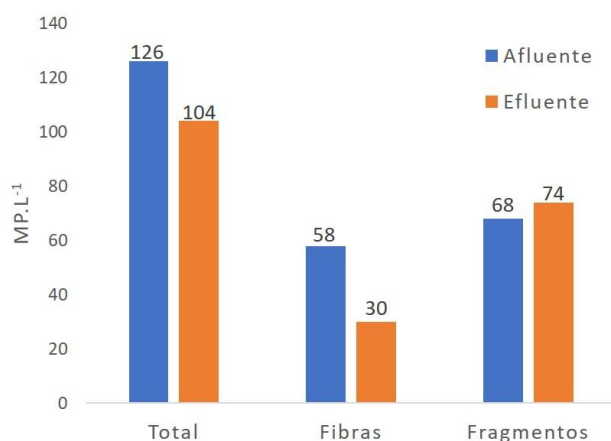


**Figura 3.21** - Eficiência de remoção por tamanho para a ETAR de Fernão Ferro e para as amostras FN e FKM. I) Fibras; II) Fragmentos.

### 3.4 ETAR da Lagoa/Meco

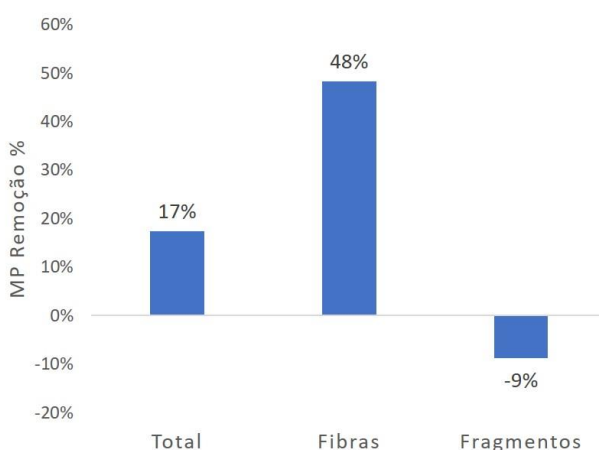
Na amostra da ETAR da Lagoa/Meco foi utilizado NaCl para o tratamento laboratorial do afluente bruto. No caso da ETAR da Lagoa/Meco, só foi analisada uma amostra.

Como se pode evidenciar na **Figura 3.22** foram observadas mais fibras no afluente bruto do que no efluente tratado, mas em contrapartida foram verificados mais fragmentos no efluente tratado que no afluente bruto.



**Figura 3.22** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco.

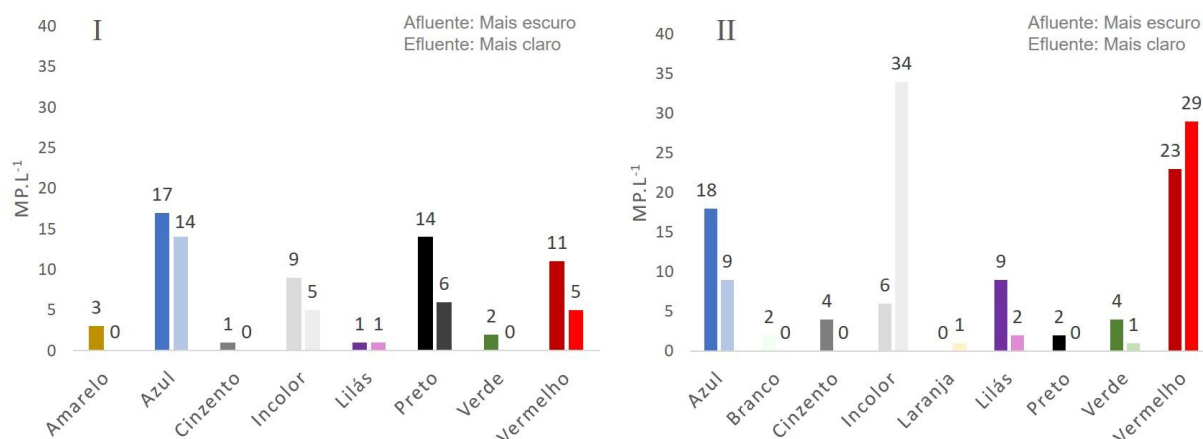
Em relação à eficiência de remoção de microplásticos pela ETAR da Lagoa/Meco, a **Figura 3.23** mostra que houve uma remoção de 17% dos microplásticos, sendo que houve um incremento de 9% na quantidade de fragmentos encontrados no efluente tratado em relação aos encontrados no afluente bruto e uma remoção de 48% de fibras.



**Figura 3.23** - Eficiência de remoção de microplásticos (fibras e fragmentos) para a ETAR da Lagoa/Meco.

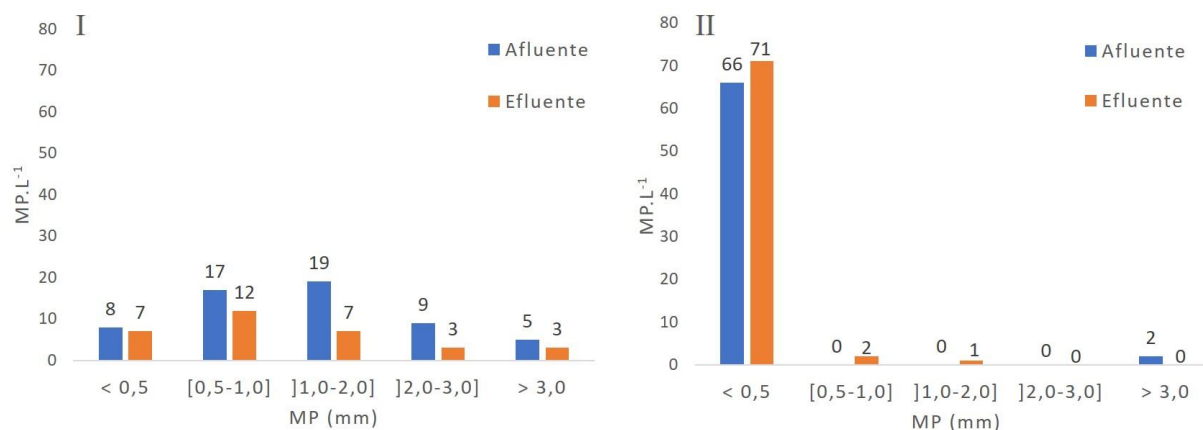
Na categoria de cor, como mostra a **Figura 3.24**, foram observadas fibras de variadas cores, sendo que se destacam o azul, o preto, o vermelho e o incolor tanto para o afluente bruto como para o efluente tratado. Em relação aos fragmentos verificou-se uma variação entre o afluente bruto e o

efluente tratado, sendo que no afluente as cores mais representadas foram o vermelho e o azul, enquanto que no efluente tratado foram o vermelho e o incolor.



**Figura 3.24** - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco. I) Fibras; II) Fragmentos.

A **Figura 3.25** mostra que em relação às fibras, estas são mais numerosas tanto para o afluente bruto, como para o efluente tratado nas classes de tamanho entre 0,5 mm e 2 mm, sendo que são mais abundantes na classe de tamanho entre 1 mm e 2 mm. No que se refere aos fragmentos estes encontram-se na sua grande maioria na classe de tamanho inferior a 0,5 mm, na qual em média possuem uma dimensão de 50  $\mu$ m.

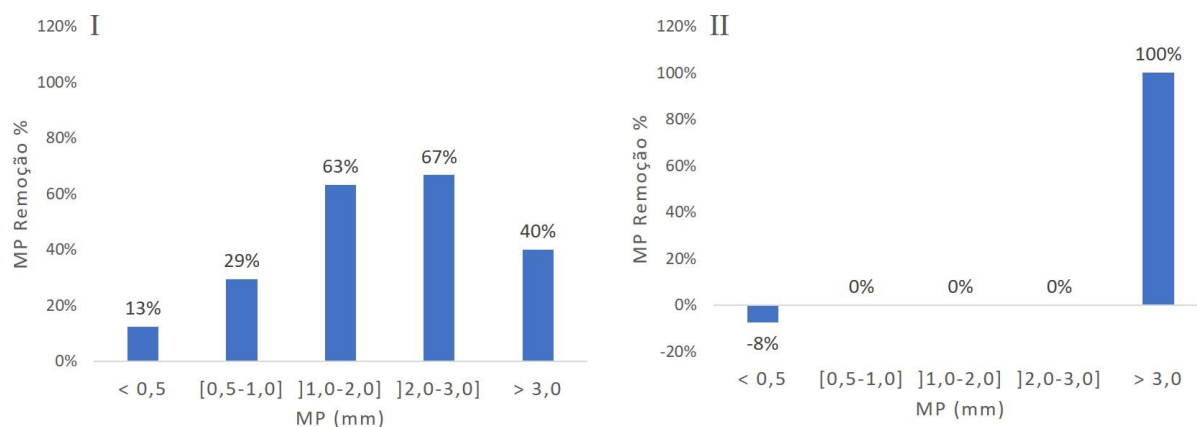


**Figura 3.25** - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco. I) Fibras; II) Fragmentos.

A menor dimensão observada nas fibras foi 100  $\mu$ m, enquanto que nos fragmentos o menor observado media 12,5  $\mu$ m.

No que se refere à eficiência de remoção, é possível verificar na **Figura 3.26** que no caso das fibras a eficiência aumenta em conformidade com a dimensão, exceto na classe de tamanho superior a 3 mm. Tendo sido o maior valor verificado 67 % na classe de tamanho entre 2 mm e 3 mm, e o menor 13%

na classe de tamanho inferior a 0,5 mm. Em relação aos fragmentos existe um incremento de 8% na classe de tamanho inferior a 0,5 mm em relação ao afluente bruto, e uma remoção total na classe de tamanho superior a 3 mm, nas restantes não existiu remoção.



**Figura 3.26** - Eficiência de remoção por tamanho para a ETAR da Lagoa/Meco. I) Fibras; II) Fragmentos.

### 3.5 Tratamento estatístico

O teste de *Kruskal-Wallis* com um nível de significância de 0,05 permitiu concluir que nas amostras com NaCl não existem diferenças significativas para as fibras entre as diferentes amostragens, no entanto existem diferenças significativas para os fragmentos e microplásticos no total.

No caso das amostras com KOH existem diferenças significativas entre os resultados do afluente e efluente nas ETAR do Barreiro/Moita e Fernão Ferro, não existindo, porém, diferenças significativas entre as ETAR.

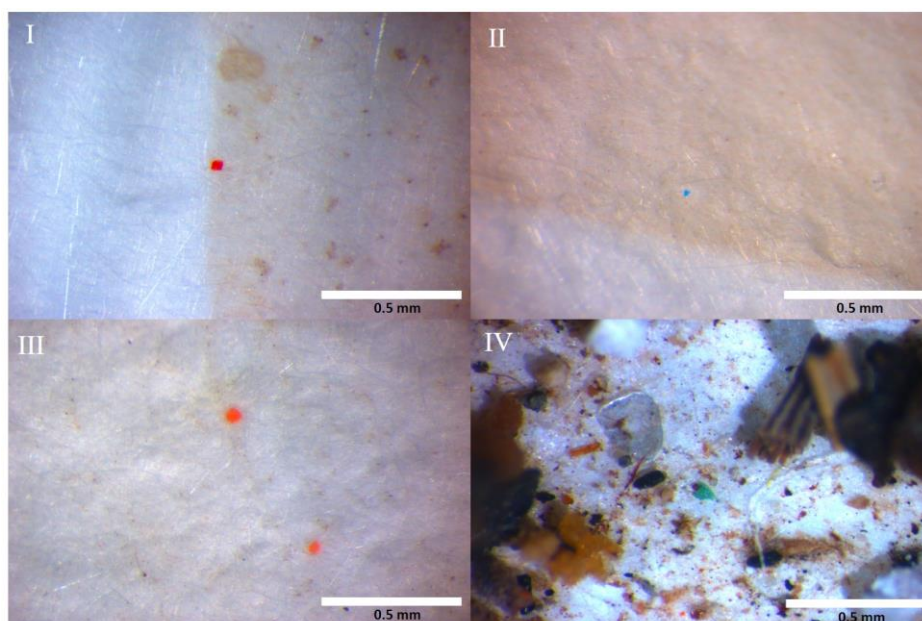
O teste de *Spearman*, com um nível de significância de 0,05, permitiu verificar que existem diferenças significativas entre as fibras e os fragmentos e as fibras e o total de microplásticos, no entanto não existem diferenças significativas entre os fragmentos e o total de microplásticos.

Em anexo II encontram-se as tabelas resultantes do software *SPSS* utilizadas para a análise anterior.

### 3.6 Microplásticos encontrados

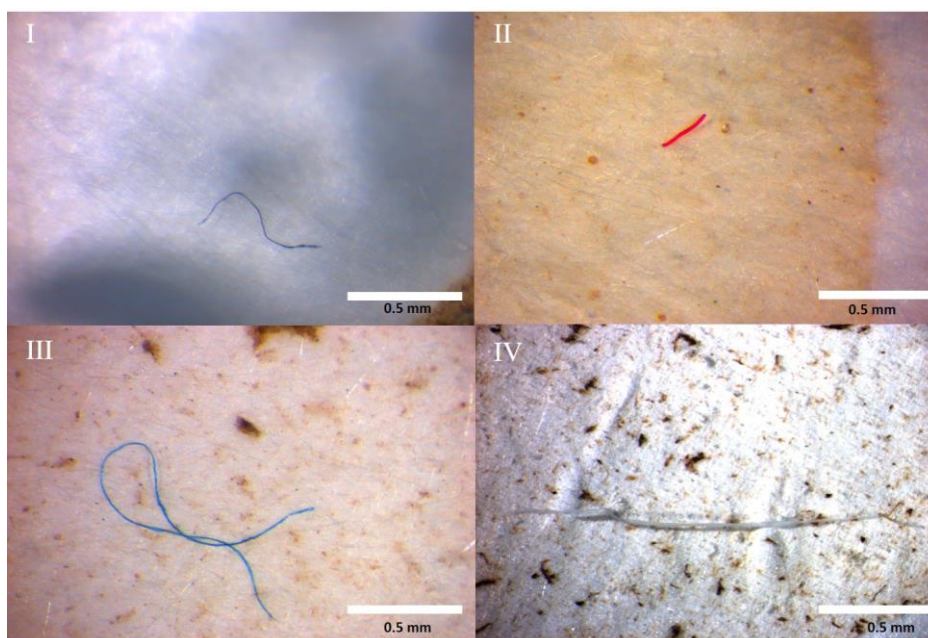
Como referido anteriormente, para todas as ETAR, os microplásticos encontrados foram divididos em dois tipos: fragmentos e fibras. A **Figura 3.27** e a **Figura 3.28** mostram respetivamente fotografias tiradas aos fragmentos e fibras mais representativos.





**Figura 3.27** – Fragmentos encontrados nos filtros. (I) Fragmento vermelho encontrado numa amostra de afluente da ETAR do Barreiro/Moita; II) Fragmento azul encontrado na amostra de efluente da ETAR da Quinta do Conde; III) Microesferas laranja encontradas numa amostra de efluente da ETAR de Fernão Ferro; IV) Conjunto de fragmentos e fibras encontrados numa amostra de afluente da ETAR de Fernão Ferro).

Os fragmentos encontrados em maior quantidade nas ETAR estudadas foram flocos de cor azul e cor vermelha de dimensões muito reduzidas, enquanto que as fibras encontradas em maior número foram fibras de cor preta, azul e vermelha, de dimensões muito variáveis.



**Figura 3.28** – Fibras encontradas nos filtros. I) Fibra preta encontrada na amostra de efluente tratado da ETAR da Lagoa/Meco; II) Fibra vermelha encontrada numa amostra de efluente tratado da ETAR do Barreiro/Moita; III) Fibra azul encontrada numa amostra de afluente bruto da ETAR do Barreiro/Moita; IV) Fibra branca encontrada numa amostra de afluente bruto da ETAR de Fernão Ferro.

Na **Tabela 3.1** encontra-se um resumo dos resultados obtidos. A quantidade de microplásticos por dia foi calculada em cada ETAR através da multiplicação do caudal pelos resultados obtidos.

Na ETAR do Barreiro/Moita, utilizando os resultados da amostra BN foi possível estimar que por dia entram na ETAR 8144 milhões de microplásticos, dos quais 5294 milhões são retidos, permitindo a entrada no meio aquático de 2850 milhões de microplásticos. Utilizando os resultados da amostra BKM estimou-se que entram por dia na ETAR 7703 milhões de microplásticos, dos quais 5276 milhões são retidos e são libertados 2427 milhões de microplásticos para o meio aquático.

Em relação à ETAR da Quinta do Conde, só foi analisada uma amostra, por isso para esta determinação só se utilizaram os valores dessa amostra. De acordo com os cálculos efetuados a ETAR recebe por dia 2304 milhões de microplásticos, aos quais acrescenta 12635 milhões, emitindo para o meio recetor 14939 milhões de microplásticos. Estes valores estão dependentes de somente uma amostragem, podendo se tratar de valores pontuais e não representativos.

O caso da ETAR de Fernão Ferro é semelhante ao do Barreiro/Moita, nesta foram observadas três amostras com duas metodologias diferentes de tratamento laboratorial do afluente. Utilizando os resultados da amostra FN foi calculado que por dia a ETAR recebe 329 milhões de microplásticos, destes 51 milhões são retidos, permitindo a passagem de 278 milhões de microplásticos para o meio aquático. Com os dados da amostra FKM foi determinado que a ETAR por dia recebe 1543 milhões de microplásticos, dos quais 1137 milhões são retidos, emitindo para o meio recetor 406 milhões de microplásticos por dia.

Na ETAR da Lagoa/Meco, à semelhança da ETAR da Quinta do Conde, só foi analisada uma amostra, portanto os cálculos foram baseados somente nos resultados dessa amostra. Pelos cálculos efetuados a ETAR recebe por dia 446 milhões de microplásticos, destes 78 milhões são retidos, escapando para o meio aquático 368 milhões de microplásticos. Estes valores estão dependentes de somente uma amostragem, podendo se tratar de valores pontuais e não representativos.

No Anexo I encontram-se as tabelas resumo correspondentes aos gráficos anteriormente apresentados.



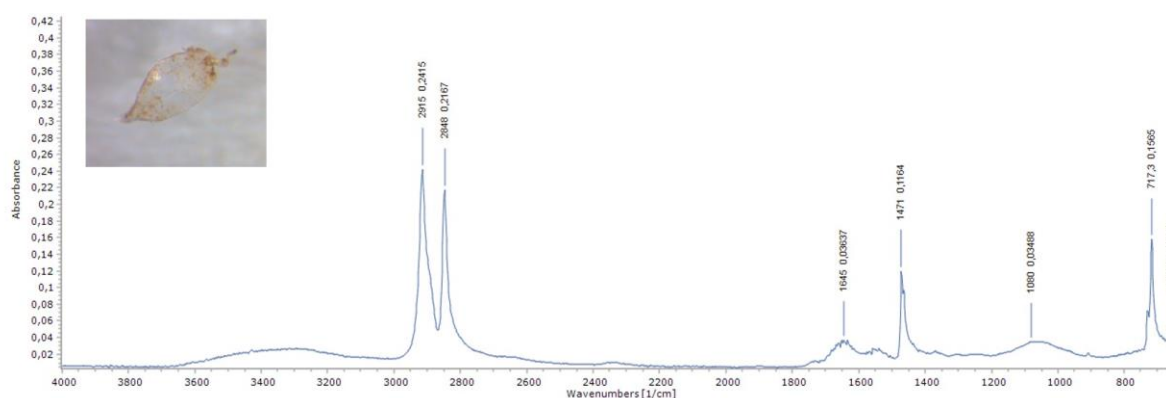
**Tabela 3.1** - Resumo de características e dos resultados observados nas quatro ETAR em estudo.

	Barreiro/Moita	Quinta do Conde	Fernão Ferro	Lagoa/Meco
População hab e.q	134565	67760	11396	20477
Caudal m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup>	18384	6095	2652	3538
Afluente (NaCl) MP.dia <sup>-1</sup>	8144*	2304*	329*	446*
Efluente (NaCl) MP.dia <sup>-1</sup>	2850*	14939*	278*	368*
Remoção (NaCl) MP.dia <sup>-1</sup>	5294*	-12635*	51*	78*
Afluente (KOH) MP.dia <sup>-1</sup>	7703*	-----	1543*	-----
Efluente (KOH) MP.dia <sup>-1</sup>	2427*	-----	406*	-----
Remoção (KOH) MP.dia <sup>-1</sup>	5276*	-----	1137*	-----

\*os resultados encontram-se em milhões de MP.dia<sup>-1</sup>

### 3.7 Análise FTIR

Até ao momento só foi possível submeter oito microplásticos a análise FTIR, destes quatro foram identificados como PE, **Figura 3.29**, nas restantes não foi possível até ao momento, identificar os polímeros a que estes correspondiam devido às muitas contaminações da água residual.



**Figura 3.29** – Fotografia e respectivo espectro de um dos microplásticos identificado como PE.



## 4 Discussão

### 4.1 Discussão de Resultados

Este estudo comprovou a presença de microplásticos no efluente tratado das ETAR, e a capacidade das mesmas em reter uma parte dos microplásticos presentes na água residual. No total das oito amostras de afluente e efluente analisadas observaram-se 7823 fragmentos e 2013 fibras, isto corresponde a cerca de 80% e 20% respetivamente de peso no total de microplásticos encontrados.

Na **Tabela 4.1** encontram-se dispostos os resultados de alguns estudos semelhantes, bem como os resultados obtidos nesta dissertação para as ETAR do Barreiro/Moita e Fernão Ferro.

Existe uma grande discrepância entre os resultados apresentados na **Tabela 4.1**, esta pode ser explicada pelas diferentes metodologias utilizadas nos diferentes estudos na recolha e tratamento das amostras e pelo material utilizado, mais concretamente a porosidade das malhas utilizadas.

**Tabela 4.1** - Resultados de alguns estudos semelhantes, e os verificados nesta dissertação para as ETAR do Barreiro/Moita e Fernão Ferro. (Os valores inseridos nesta tabela para as ETAR em estudo nesta dissertação resultam da média das amostras tratadas com KOH.)

Localização	Malha inferior $\mu\text{m}$	Afluente (Mp.L <sup>-1</sup> )	Efluente (Mp.L <sup>-1</sup> )	Eficiência de remoção	Referência
Lysekil; Suécia	300	15	$8,3 \times 10^{-3}$	99,9%	Magnusson & Norén, (2014)
Califórnia; EUA	20	1	$0,88 \times 10^{-3}$	99,9%	Carr et al., (2016)
Glasgow; Escócia	11	15	$2,5 \times 10^{-1}$	98,4%	Murphy et al., (2016)
Detroit; EUA	20	133	4,3	97,2%	Michielssen et al., (2016)
Baixa Saxônica; Alemanha	10	17	9	97%	Mintenig et al., (2017)
Helsínquia; Finlândia	20	430	8,6	98%	Talvitie et al., (2017)
Sydney; Austrália	25	15	1,5	90%	Ziajahromi et al., (2017)
Amsterdão; Holanda	0,7	325	91	72%	Leslie et al., (2017)
<b>Barreiro/Moita; Portugal</b>	<b>1,2</b>	<b>419</b>	<b>132</b>	<b>68%</b>	-----
<b>Fernão Ferro; Portugal</b>	<b>1,2</b>	<b>582</b>	<b>153</b>	<b>74%</b>	-----

Ao contrário do verificado nos estudos de Leslie et al., (2017); Magnusson e Norén, (2014); Mintenig et al., (2017); Talvitie et al., (2017) e Ziajahromi et al., (2017), e em concordância com os estudos de Dyachenko et al., (2017) e Murphy et al., (2016), o número de fragmentos encontrados foi no geral superior ao número de fibras, exceto nas amostras FK2 e BK1 de afluente bruto, onde foram observados mais 30% e 8% de fibras em relação aos fragmentos, respetivamente.

Apesar de, no total observado, os fragmentos corresponderem a 80% dos microplásticos observados, a diferença entre fragmentos e fibras não é assim tão elevada. Em média, e retirando os valores do efluente da ETAR da Quinta do Conde, no afluente os fragmentos corresponderam a cerca de 54% do total de microplásticos encontrados, enquanto que no efluente estes corresponderam a cerca de 70% dos microplásticos encontrados. Talvitie et al., (2017), verificou que a percentagem de fragmentos em relação aos microplásticos no total aumentou, apesar do decréscimo em quantidade, do afluente para o efluente, isto é explicado pela maior remoção de fibras na ETAR do que fragmentos, situação semelhante à ocorrida neste estudo.

Os filtros das amostras de afluente bruto, ricas em matéria orgânica, tratadas com NaCl ainda continham uma quantidade muito significativa de matéria orgânica, o que criou em alguns filtros uma camada que tornou a contagem de microplásticos quase impossível. Isto pode explicar a um valor mais baixo de microplásticos encontrados nestas amostras.

Em relação à eficiência de remoção, as ETAR da Quinta do Conde e da Lagoa/Meco apresentaram valores negativos na remoção dos fragmentos, existindo, no entanto, remoção das fibras, enquanto que as ETAR de Fernão Ferro e Barreiro/Moita registaram remoção tanto dos fragmentos como das fibras.

Na ETAR da Lagoa/Meco foram encontrados 68 fragmentos no afluente e 74 no efluente, resultando num incremento de 9% na ETAR. Em relação às fibras, foram encontradas 58 no afluente e 30 no efluente, existindo uma remoção de 48% das fibras na ETAR, no total a ETAR da Lagoa/Meco removeu 17% dos microplásticos que entraram na mesma. A baixa remoção pode ser explicada pela dificuldade em encontrar microplásticos nos filtros colmatados de matéria orgânica. Estes valores estão muito abaixo daqueles observados em estudos semelhantes (**Tabela 4.1**), uma explicação pode ser a ausência de decantação primária, que em estudos semelhantes anteriormente referidos demonstraram que, é um dos processos que remove mais microplásticos.

No caso da ETAR da Quinta do Conde, foram encontradas 168 fibras no afluente e somente 16 no efluente, significando isto, que provavelmente ocorreu a remoção de 90% das fibras, valor em conformidade com os observados na **Tabela 4.1**. No entanto em relação aos fragmentos, foram encontrados 210 no afluente, um número semelhante aos encontrados nas amostras com KOH, que ficou muito aquém dos 2436 fragmentos, valor largamente superior aos encontrados nas restantes amostras, encontrados no efluente da ETAR. Este valor não pode ser justificado somente pelos microplásticos não contabilizados em alguns filtros de maior teor em matéria orgânica, foi então ponderado se a ETAR poderia estar a libertar microplásticos para a água residual. Não foram recolhidas mais amostras da ETAR da Quinta do Conde, portanto, não é possível afirmar se foi um

caso pontual ou algo recorrente, mas tendo em conta os valores extremamente elevados que foram encontrados, é provável que tenha sido um caso pontual.

Como a grande maioria dos fragmentos encontrados no efluente da ETAR se assemelhavam a tinta azul, foi questionado se esta tinta não poderia vir da degradação dos revestimentos dos equipamentos, como bombas e válvulas, da ETAR e de todo o sistema de esgoto. A **Figura 4.1** mostra uma foto tirada a um equipamento degradado. Nesta, é possível observar que o equipamento perdeu parte do revestimento azul no seu interior, que está em contacto com a água residual. Como tal o único destino possível para os fragmentos libertados é a água residual, é então importante estudar se o contributo destes equipamentos é ou não significativo para o total de microplásticos lançados para o meio aquático.



**Figura 4.1** – Exemplo de um tipo de equipamento utilizado nas ETAR revestido com tinta azul encontrado em desuso.

Em relação à ETAR de Fernão Ferro, à semelhança da ETAR da Lagoa/Meco, esta apresentou valores reduzidos de fragmentos e fibras na amostra de afluente tratada com NaCl, no entanto, estes valores foram superiores aos observados no efluente tratado, tendo ocorrido uma remoção de 15% dos microplásticos, mais concretamente, a remoção de 12% das fibras e 18% dos fragmentos. No que se refere às amostras tratadas com KOH, a ETAR em média consegue remover 91 % das fibras e 57 % dos fragmentos, ao que corresponde uma remoção total de 74% dos microplásticos. O valor de remoção de fibras está em conformidade com os resultados obtidos em trabalhos semelhantes apresentados na **Tabela 4.1**. No entanto o valor de remoção dos fragmentos encontra-se abaixo daqueles registados nos trabalhos anteriormente referidos, enquanto que a eficiência de remoção dos microplásticos no total é semelhante à obtida por Leslie et al (2017).

A ETAR do Barreiro/Moita apresentou valores semelhantes nas diferentes amostras, tanto para as amostras tratadas com KOH, como para as amostras tratadas com NaCl. Na amostra com NaCl, ocorreu a remoção de 84% das fibras e 46% dos fragmentos, resultando numa remoção de 65% dos microplásticos, valor próximo dos 68% obtido nas amostras tratadas com KOH, no entanto, nestas ocorreu uma remoção de 75% de fibras e 63% de fragmentos. A ETAR do Barreiro/Moita tem uma

contribuição industrial significativa, em especial da Fisipe, como tal seria de esperar um número mais elevado de microplásticos nesta ETAR, principalmente de fibras, que nas outras ETAR, tal facto não foi constatado, sendo os valores da ETAR do Barreiro/Moita semelhantes aos obtidos das outras ETAR e até mesmo inferiores aos da ETAR de Fernão Ferro. Estes estão perto daqueles registados por Leslie et al (2017), mas um pouco aquém dos obtidos nos restantes estudos.

A dimensão média dos fragmentos observados foi de 25  $\mu\text{m}$ , e o menor observado media 12,5  $\mu\text{m}$ , como tal é importante perceber que os estudos com uma malha superior a estes tamanhos, não observaram a parte mais numerosa dos microplásticos, podendo justificar os 90 % de eficiência de remoção. Magnusson & Norén (2014), foram os únicos a utilizar uma malha superior à média dos fragmentos observados neste trabalho, no entanto Carr et al (2016); Michielssen et al (2016); Talvitie et al (2017) e Ziajahromi et al (2017) utilizaram malhas superiores ao fragmento de tamanho mais reduzido encontrado.

Em relação às cores, existe alguma variação entre as cores observadas nas fibras e nos fragmentos. Enquanto que nas fibras, foi observada uma maior quantidade de cores, estas encontraram-se, pela mesma razão, mais dispersas, existindo, no entanto, uma concentração de fibras na cor azul, vermelho, preto e incolor. Os fragmentos encontraram-se na sua grande maioria restringidos à cor azul e vermelha, existindo ainda algum contributo do incolor. Nos estudos de Carr et al (2016); Murphy et al (2016); Talvitie et al (2017); e Ziajahromi et al (2017), os fragmentos foram observados na sua grande maioria com cor azul, e vermelho (Murphy et al., 2016), no entanto no estudo de Mintenig et al (2017) os fragmentos observados foram predominantemente incolores.

No que se refere às dimensões dos microplásticos, os resultados são muito diferentes entre os fragmentos e as fibras. No caso dos fragmentos, foi observado mais de 95% destes na classe de tamanho inferior a 0,5 mm, sendo o valor médio dos fragmentos encontrados entre os 25  $\mu\text{m}$  e os 50  $\mu\text{m}$ . Estes resultados estão de acordo com os observados nos estudos de Mintenig et al (2017); Talvitie et al (2017) e Ziajahromi et al (2017), estes observaram que os fragmentos com maior representação se encontravam respetivamente entre os 20  $\mu\text{m}$  e os 300  $\mu\text{m}$ , os 25  $\mu\text{m}$  e os 200  $\mu\text{m}$ , e abaixo dos 500  $\mu\text{m}$ .

Nas fibras os resultados variaram muito entre as ETAR, no entanto mais de 70% das fibras foram observadas em dimensões inferiores a 2 mm, estando mais representadas na classe de tamanho entre 0,5 mm e 1 mm.

A análise FTIR, mostrou à semelhança com os estudos semelhantes referidos anteriormente, a presença de fragmentos de PE de cor azul e incolor.

Os microplásticos removidos da água residual são retidos nas lamas resultantes dos processos de tratamento, estas lamas são posteriormente utilizadas como fertilizante em solos. Os microplásticos são removidos da água residual mas são inseridos de novo no meio mas nos solos, é importante estudar os efeitos dos microplásticos no solo, e encontra formas de degradar os microplásticos de forma a impedir que voltem ao meio, seja através da água seja através do solo.

## 4.2 Limitações da metodologia

O caudal afluyente às ETAR e as suas características quantitativas e qualitativas, sofrem grandes variações ao longo do dia, podendo o caudal de um dia ser muito diferente ao caudal do dia seguinte. É então muito difícil considerar pequenas amostras como significativas e caracterizadoras de uma ETAR, apesar de, no caso desta dissertação as amostras analisadas serem amostras compostas recolhidas de forma esporádica.

O afluyente bruto das ETAR, como seria de esperar, apresentou um grande teor em sólidos e matéria orgânica, o que dificultou a filtração e observação da amostra. Como este facto já tinha sido considerado, estas amostras foram tratadas numa primeira fase com uma solução de NaCl para diluir a lama e provocar a ascensão dos microplásticos para o topo da amostra. Como as amostras tratadas com NaCl continuaram a apresentar dificuldade na observação dos filtros, foi efetuada uma segunda metodologia com a adição de uma solução de KOH, para que este digerisse a matéria orgânica presente na amostra. Esta metodologia já permitiu observar os filtros sem a presença de uma camada de matéria orgânica que dificultava a observação.

A identificação dos microplásticos foi visual recorrendo a uma lupa, podendo por essa razão, não terem sido identificados alguns microplásticos que se pudessem encontrar no filtro. No caso das fibras, apesar de existirem fibras orgânicas naturais, a metodologia utilizada não permitiu diferenciá-las das fibras orgânicas sintéticas, como tal todas as fibras observadas foram identificadas como microplástico. Em estudos futuros é aconselhado o uso de uma solução de *Rose-Bengal*, de acordo com a metodologia utilizada por Ziajahromi et al. (2017), para tingir a matéria orgânica natural e permitir uma melhor diferenciação entre fibras orgânicas naturais e fibras sintéticas.

Em relação aos fragmentos, uma pequena parte dos fragmentos identificados foi retirado para análise FTIR, não tendo sido possível analisar todos os fragmentos encontrados devido à sua abundância e ao tamanho dos mesmos. Não foi possível remover os fragmentos de tamanho muito reduzido do filtro, no entanto os fragmentos de maior dimensão foram recolhidos, apesar de se terem perdido alguns no processo de recolha.

## 4.3 Formas de melhorar a eficiência de remoção das ETAR

Até ao momento não existem estudos realizados sobre formas de melhorar a eficiência de remoção de microplásticos em ETAR, no entanto nos estudos de Magnusson & Norén, (2014); Michielssen et al., (2016); Mintenig et al., (2017), estes observaram que uma filtração no tratamento terciário conseguia reter uma quantidade significativa de microplásticos, sendo que os filtros de membrana conseguiam reter muito mais que os tradicionais filtros de areia. Infelizmente os filtros de membrana para os volumes de água residual que as ETAR tratam exigem custos de investimento e manutenção muito elevados. Não existindo uma obrigação legal na remoção de microplásticos, é improvável que esta solução seja implementada com este objetivo. No futuro as membranas poderão ser usadas para melhorar a qualidade da água residual tratada para que esta possa ser reutilizada para diversos usos,

com uma maior procura os custos associados poderão ser mais fáceis de gerir, sendo nesse contexto possível a existência de membranas na maioria das ETAR.

Se for comprovado que o desgaste dos revestimentos dos equipamentos contribui de uma forma significativa para o teor de microplásticos na ETAR, demonstra-se a necessidade de realizar mais manutenção aos equipamentos, prevenindo o desgaste dos mesmos, e a libertação de fragmentos de tinta para a água residual.



## 5 Considerações finais

### 5.1 Conclusões

O objetivo principal desta dissertação foi a determinação da eficiência de retenção de microplásticos por parte de quatro ETAR em estudo, Barreiro/Moita, Quinta do Conde, Fernão Ferro e Lagoa/Meco. Esta dissertação teve também como objetivo estudar a composição e características dos microplásticos presentes na água residual.

Ao contrário do que aconteceu em estudos semelhantes, a eficiência de retenção nas quatro ETAR em estudo foi bastante mais baixa do que as eficiências determinadas em estudos semelhantes. Uma explicação para este facto pode ser o baixo número de amostras analisadas e as diferentes metodologias aplicadas nesses estudos. Como por exemplo a porosidade da malha dos filtros utilizados e a forma de obtenção das amostras, em alguns casos as amostras foram recolhidas no local, podendo ter sido só obtidas amostras superficiais das águas residuais e não uma parcela representativa do seu todo. A falta de estudos e de uma metodologia padrão não permite uma comparação entre resultados obtidos em condições semelhantes.

Na ETAR da Quinta do Conde verificou-se um aumento da quantidade de microplásticos existentes no efluente tratado comparativamente com o afluente bruto. Na ETAR Lagoa/Meco verificou-se uma eficiência de retenção muito baixa na ordem dos 17 %, e na ordem dos 70% para as ETAR de Fernão Ferro e Barreiro/Moita.

Em relação às cores dos microplásticos, as fibras foram observadas em maior quantidade com cores azuis, vermelhas, incolores e pretas, enquanto que os fragmentos foram observados na sua grande maioria em cores azuis, vermelhas e incolores. Estes resultados são semelhantes aos obtidos em estudos semelhantes.

No que se refere às dimensões dos microplásticos, os resultados são muito diferentes entre os fragmentos e as fibras. No caso dos fragmentos, observaram-se mais de 95% destes presentes na classe de tamanho inferior a 0,5 mm, sendo o valor médio dos fragmentos encontrados entre os 25 µm e os 50 µm, enquanto que nas fibras os resultados variaram muito entre as ETAR, no entanto mais de 70% das fibras foram observadas em dimensões inferiores a 2 mm, estando mais representadas na classe de tamanho entre 0,5 mm e 1 mm.

Até ao momento só foi possível analisar em FTIR oito amostras. Destas, quatro emitiram espectros onde não foi possível identificar o polímero, enquanto que as outras quatro foram identificadas como PE. Em outros estudos realizados a ETAR de outros países, observaram-se partículas azuis e incolores que foram posteriormente determinadas em FTIR como PE, semelhante aos resultados obtidos neste trabalho.

É importante continuar a realizar-se estudos acerca do papel das ETAR na retenção dos microplásticos, assim como a utilização de diferentes metodologias, para combater as limitações verificadas nesta dissertação.

## 5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Esta dissertação comprovou que as ETAR portuguesas libertam microplásticos para o meio aquático, é, portanto, importante elaborar mais estudos, tanto de eficiência de retenção de microplásticos por parte da ETAR, como a remoção destes em cada processo da ETAR. Devido às limitações da metodologia utilizada é importante procurar e testar novas metodologias, de forma a aumentar a relevância dos resultados e facilitar a sua análise.

Em relação às EE, estas apresentam em muitos casos tratamento preliminar, torna-se então, importante verificar se estes conseguem ou não remover microplásticos da água residual antes da chegada desta à ETAR. A remoção nas EE não foi contemplada neste estudo, portanto a quantidade de microplásticos que entra no sistema pode ser superior àquele verificado, assim como, a contribuição do mesmo no seu todo como barreira à entrada de microplásticos no meio aquático.

Nesta dissertação não foi estudado o impacto das águas libertadas em *bypass*, em episódios de muita precipitação, ou mau funcionamento nas EE ou nas ETAR onde a água residual é libertada ou diretamente, ou após uma gradagem, para o meio aquático. Esta água residual pode introduzir microplásticos no meio, como tal é importante estudar a quantidade de água residual libertada desta forma e a quantidade de microplásticos que esta apresenta.

Até ao momento da realização desta dissertação não existe nenhum estudo realizado sobre formas de aumentar a eficiência de remoção de microplásticos nas ETAR, não existindo até ao momento uma obrigatoriedade desta por parte das ETAR. Torna-se importante continuar a mostrar a relevância dos contributos de microplásticos por parte das ETAR e estudar formas de aumentar esta remoção através de métodos não muito dispendiosos. É também necessário confirmar a hipótese de que os equipamentos no sistema de esgoto e dentro das ETAR e EE, libertam uma quantidade significativa de tinta na água residual, e caso tal se confirme, estudar formas de reduzir esta contribuição.

Os microplásticos podem servir de transporte a tóxicos e microrganismos presentes na água residual para o meio aquático, sendo então importante confirmar esta hipótese e os efeitos que estes podem produzir nos meios onde são inseridos.

Os microplásticos retidos nas ETAR vão parar às lamas resultantes dos processos, essas lamas são utilizadas como fertilizante e depositadas em solos para diferentes fins, é então importante verificar o teor em microplásticos nas lamas, e os efeitos desses microplásticos para o solo onde são inseridos e para o ecossistema, ou caso o solo seja destinado a cultivo, os efeitos nos alimentos produzidos e na saúde de quem os consome.

## Referências bibliográficas

- Anbumani, S., Kakkar, P., (2018). Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1999-x>
- Andrady, A.L., (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62, 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Arthur, C., Baker, J., Bamford, H., (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence , Effects , and Fate of Microplastic Marine Debris. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
- Bakir, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., (2014). Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental Pollution* 185, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.007>
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences* 364, 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Brandrup, J., Bittner, M., Michaeli, W., Menges, G., (1996). *Recycling and Recovery of Plastics*. Hanser/Gardner Publications.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E.L., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R.C., (2011). Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology* 45, 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Buchanan, J.B., (1971). Pollution by synthetic fibres. *Marine Pollution Bulletin* 2, 23. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(71\)90136-6](https://doi.org/10.1016/0025-326X(71)90136-6)
- Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G., (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research* 91, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.002>
- Comissão das Comunidades Europeias, (1997). Decisão da Comissão de 28 de Janeiro de 1997. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* L 50/28.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Galloway, T.S., (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental Science & Technology* 49, 1130–1137. <https://doi.org/10.1021/es504525u>
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Galloway, T.S., (2013). Microplastics ingestion by zooplankton. *Environmental Science & Technology* 47, 6646–6655. <https://doi.org/10.1021/es400663f>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62, 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

- Conselho das Comunidades Europeias, (1975). Directiva do Conselho de 16 de Junho de 1975. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 194/26.
- Corcoran, P.L., Biesinger, M.C., Grifi, M., (2009). Plastics and beaches: A degrading relationship. *Marine Pollution Bulletin* 58, 80–84. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.08.022>
- Crawford, R.J., (1998). General Properties of Plastics, em: *Plastics Engineering*. Butterworth - Heinemann, pp. 1–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075063764-0/50003-0>
- Dyachenko, A., Mitchell, J., Arsem, N., (2017). Extraction and identification of microplastic particles from secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent. *Analytical Methods* 9, 1412–1418. <https://doi.org/10.1039/C6AY02397E>
- Eckert, E.M., Di Cesare, A., Kettner, M.T., Arias-Andres, M., Fontaneto, D., Grossart, H.P., Corno, G., (2018). Microplastics increase impact of treated wastewater on freshwater microbial community. *Environmental Pollution* 234, 495–502. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.070>
- Engler, R., (2012). The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean. *Environmental Science & Technology* 46, 12302-12315. <https://doi.org/10.1021/es3027105>
- Frazão, T.S., (2015). Controlo analítico de ETAR através de métodos expeditos de análise. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- Frias, J.P.G.L., Sobral, P., Ferreira, A.M., (2010). Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin* 60, 1988–1992. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.030>
- Galgani, Oosterbaan, L., Poitou, I., Hanke, G., Thompson, R., Amato, E., Janssen, C., Galgani, F., Fleet, D., Franeker, J. Van, Katsanevakis, S., Maes, T., (2010). Marine Strategy Framework Directive: Task Group 10 Report Marine Litter. <https://doi.org/10.2788/86941>
- Gall, S.C., Thompson, R.C., (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin* 92, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>
- GESAMP - Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: Part 2 of a global assessment. Reports and Studies GESAMP. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3803.7925>
- Hopewell, J., Dvorak, R., Kosior, E., (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 2115–2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A.L., Narayan, R., Law, K.L., (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 1655–1734. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.010>
- Kenyon, K.W., Kridler, E., (1969). Laysan Albatross swallow indigestible matter. *The Auk* 86, 339–343.

- Leslie, H.A., Brandsma, S.H., van Velzen, M.J.M., Vethaak, A.D., (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International* 101, 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.018>
- Lusher, A.L., Welden, N.A., Sobral, P., Cole, M., (2016). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Analytical Methods* 9, 1346-1360. <https://doi.org/10.1039/C6AY02415G>
- Magnusson, K., Norén, F., (2014). Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant. IVL Swedish Environmental Research Institute C 55. <https://doi.org/naturvardsverket-2226>
- Marques, J.A. de S., Sousa, J.J. de O., (2014). *Hidráulica Urbana - Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais*, 3.<sup>a</sup> ed. Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Michielssen, M.R., Michielssen, E.R., Ni, J., Duhaime, M.B., (2016). Fate of microplastics and other small anthropogenic litter (SAL) in wastewater treatment plants depends on unit processes employed. *Environmental Science Water Research & Technology* 2, 1064–1073. <https://doi.org/10.1039/C6EW00207B>
- Ministério do Ambiente, (1997). Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de Junho de 1997. Diário da República - 1 Série-A nº 139, 2959-2967.
- Ministério do Ambiente, (1997). Decreto-Lei nº 366-A/97 de 20 de Dezembro de 1997. Diário da República - 1 Série-A nº 293, 498-503.
- Mintenig, S.M., Int-Veen, I., Löder, M.G.J., Primpke, S., Gerdts, G., (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research* 108, 365–372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015>
- MSFD - Marine Strategy Framework Directive Technical Subgroup On Marine Litter, (2013). Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. <https://doi.org/10.2788/99475>
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., Quinn, B., (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science and Technology* 50, 5800–5808. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05416>
- Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia, (1994). Directiva 94/62/CE do Parlamento Europeu e o Conselho de 20 de Dezembro de 1994. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 365/10.
- Plastics Europe, (2017). *Plastics – the Facts 2017*, Analysis of European plastics production, demand and waste data. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.015>
- Qasim, S.R., (1999). *Wastewater Treatment Plants: PLANNING, DESIGN, AND OPERATION*, 2nd ed. CRC Press LLC.

- Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., Lehtiniemi, M., (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution* 185, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013>
- Spellman, F.R., (2003). *Handbook of Water and Wastewater Treatment plant Operations*, 1st ed. Lewis publishers.
- Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., Koistinen, A., (2017). How well is microlitter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Research* 109, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.046>
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th ed. McGraw-Hill.
- Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Bjorn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P.H., Tana, T.S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkhavong, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H., (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 2027–2045. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Thompson, R., Olsen, Y., Mitchell, R., Davis, A. p., Rowland, S.J., Anthony, J.W.G., McGonigle, D., Russell, A.E., (2004). Lost at sea: Where is all the plastic. *Science* 304, 838.
- Thompson, R., Moore, C., Andrady, A., Gregory, M., Takada, H., Weisberg, S., (2005). New directions in plastic debris. *Science* 310, 1117. <https://doi.org/10.1126/science.310.5751.1117b>
- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S., (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution* 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Zettler, E.R., Mincer, T.J., Amaral-Zettler, L.A., (2013). Life in the «Plastisphere»: microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science & Technology*.
- Ziajahromi, S., Neale, P.A., Rintoul, L., Leusch, F.D.L., (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research* 112, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.042>

# Anexos

## Anexo I – Tabelas resumo dos resultados obtidos

### 1) ETAR do Barreiro/Moita

**Tabela A.1** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total e remoção para a amostra BN.

NaCl					
Barreiro/Moita	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %
Fibras	219	35	49%	23%	84%
Fragmentos	224	120	51%	77%	46%
<b>Total</b>	<b>443</b>	<b>155</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>65%</b>

**Tabela A.2** - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total para a amostra BN.

NaCl					
Barreiro/Moita	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	
<b>Fibras</b>	<b>218</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	
Amarelo	2	0	1%	0%	
Azul	88	18	40%	49%	
Branco	0	0	0%	0%	
Castanho	4	0	2%	0%	
Cinzentos	5	0	2%	0%	
Incolor	33	7	15%	19%	
Laranja	1	0	0%	0%	
Lilás	3	0	1%	0%	
Preto	56	9	26%	24%	
Rosa	0	1	0%	3%	
Verde	5	1	2%	3%	
Vermelho	21	1	10%	3%	
<b>Fragmentos</b>	<b>224</b>	<b>121</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	
Amarelo	4	0	2%	0%	
Azul	139	104	62%	86%	
Branco	1	1	0%	1%	
Castanho	11	1	5%	1%	
Cinzentos	2	1	1%	1%	
Incolor	17	2	8%	2%	
Laranja	0	0	0%	0%	
Lilás	13	7	6%	6%	
Preto	0	0	0%	0%	
Rosa	12	2	5%	2%	
Verde	0	0	0%	0%	
Vermelho	25	3	11%	2%	
<b>Total</b>	<b>442</b>	<b>158</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	

**Tabela A.3** - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total e remoção para a amostra BN.

NaCl					
Barreiro/Moita	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %
<b>Fibras</b>	<b>219</b>	<b>36</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>84%</b>
< 0,5	103	15	47%	42%	85%
[0,5-1,0]	43	6	20%	17%	86%
]1,0-2,0]	43	6	20%	17%	86%
]2,0-3,0]	18	3	8%	8%	83%
> 3,0	12	6	5%	17%	50%
<b>Fragmentos</b>	<b>224</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>46%</b>
< 0,5	207	120	92%	100%	42%
[0,5-1,0]	11	0	5%	0%	100%
]1,0-2,0]	4	0	2%	0%	100%
]2,0-3,0]	0	0	0%	0%	0%
> 3,0	2	0	1%	0%	100%
<b>Total</b>	<b>443</b>	<b>156</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>65%</b>

**Tabela A.4** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total e remoção para as amostras BK1, BK2 e BKM.

KOH					
Barreiro/Moita	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %
<b>Amostra</b>	<b>1</b>				
Fibras	175	28	52%	37%	84%
Fragmentos	162	47	48%	63%	71%
Total	337	75	100%	100%	78%
<b>Amostra</b>	<b>2</b>				
Fibras	215	67	43%	36%	69%
Fragmentos	286	121	57%	64%	58%
Total	501	188	100%	100%	62%
<b>Amostra</b>	<b>Média</b>				
Fibras	195	48	47%	36%	75%
Fragmentos	224	84	53%	64%	63%
Total	419	132	100%	100%	68%



**Tabela A.5** - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total para as amostras BK1, BK2 e BKM.

KOH	1		2		Média			
Barreiro/Moita	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %
<b>Fibras</b>	<b>175</b>	<b>29</b>	<b>215</b>	<b>69</b>	<b>195</b>	<b>49</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Amarelo	0	0	0	1	0	1	0%	1%
Azul	53	6	90	24	72	15	42%	35%
Branco	0	0	0	0	0	0	0%	0%
Castanho	1	0	2	0	2	0	1%	0%
Cinzentos	2	3	17	9	10	6	8%	13%
Incolor	16	7	5	5	11	6	2%	7%
Laranja	1	0	0	0	1	0	0%	0%
Lilás	0	0	1	1	1	1	0%	1%
Preto	86	11	57	24	72	18	27%	35%
Rosa	2	0	0	0	1	0	0%	0%
Verde	0	0	0	1	0	1	0%	1%
Vermelho	14	2	43	4	29	3	20%	6%
<b>Fragmentos</b>	<b>162</b>	<b>49</b>	<b>286</b>	<b>124</b>	<b>224</b>	<b>87</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Amarelo	4	0	0	0	2	0	0%	0%
Azul	47	14	43	10	45	12	15%	8%
Branco	0	0	0	0	0	0	0%	0%
Castanho	0	0	0	0	0	0	0%	0%
Cinzentos	9	3	1	2	5	3	0%	2%
Incolor	6	13	11	5	9	9	4%	4%
Laranja	4	0	8	2	6	1	3%	2%
Lilás	4	9	0	1	2	5	0%	1%
Preto	0	0	0	0	0	0	0%	0%
Rosa	2	1	9	2	6	2	3%	2%
Verde	1	0	2	3	2	2	1%	2%
Vermelho	85	9	212	99	149	54	74%	80%
<b>Total</b>	<b>337</b>	<b>78</b>	<b>501</b>	<b>193</b>	<b>419</b>	<b>136</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Tabela A.6** - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR do Barreiro/Moita, assim como os respectivos pesos no total e remoção para as amostras BK1, BK2 e BKM.

KOH	1		2		Média				
Barreiro/Moita	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %
<b>Fibras</b>	<b>175</b>	<b>28</b>	<b>215</b>	<b>67</b>	<b>195</b>	<b>48</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>75%</b>
< 0,5	57	6	58	5	58	6	30%	13%	90%
[0,5-1,0]	67	14	101	36	84	25	43%	52%	70%
]1,0-2,0]	34	5	41	13	38	9	19%	19%	76%
]2,0-3,0]	14	2	12	9	13	6	7%	13%	54%
> 3,0	3	1	3	4	3	3	2%	6%	0%
<b>Fragmentos</b>	<b>162</b>	<b>47</b>	<b>286</b>	<b>121</b>	<b>224</b>	<b>84</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>63%</b>
< 0,5	161	46	282	120	222	83	99%	99%	63%
[0,5-1,0]	0	0	2	1	1	1	0%	1%	0%
]1,0-2,0]	0	1	1	0	1	1	0%	1%	0%
]2,0-3,0]	0	0	1	0	1	0	0%	0%	100%
> 3,0	1	0	0	0	1	0	0%	0%	100%
<b>Total</b>	<b>337</b>	<b>75</b>	<b>501</b>	<b>188</b>	<b>419</b>	<b>132</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>68%</b>

## 2) Quinta do Conde

**Tabela A.7** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde, assim como os respectivos pesos no total e remoção.

NaCl					
Quinta do Conde	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %
Fibras	168	16	44%	1%	90%
Fragmentos	210	2436	56%	99%	-1060%
<b>Total</b>	<b>378</b>	<b>2451</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>-548%</b>

**Tabela A.8** - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde, assim como os respectivos pesos no total.

NaCl					
Quinta do Conde	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	
<b>Fibras</b>	<b>168</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	
Amarelo	2	0	1%	0%	
Azul	58	6	35%	38%	
Branco	0	0	0%	0%	
Castanho	1	1	1%	6%	
Cinzento	7	0	4%	0%	
Incolor	20	6	12%	38%	
Laranja	0	0	0%	0%	
Lilás	6	0	4%	0%	
Preto	60	3	36%	19%	
Rosa	1	0	1%	0%	
Verde	1	0	1%	0%	
Vermelho	12	2	7%	13%	
<b>Fragmentos</b>	<b>210</b>	<b>2436</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	
Amarelo	11	0	5%	0%	
Azul	116	2417	55%	99%	
Branco	1	0	0%	0%	
Castanho	12	1	6%	0%	
Cinzento	6	1	3%	0%	
Incolor	39	5	19%	0%	
Laranja	2	0	1%	0%	
Lilás	5	1	2%	0%	
Preto	0	0	0%	0%	
Rosa	3	9	1%	0%	
Verde	1	0	0%	0%	
Vermelho	14	3	7%	0%	
<b>Total</b>	<b>378</b>	<b>2451</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	

**Tabela A.9** - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR da Quinta do Conde, assim como os respectivos pesos no total e remoção.

NaCl						
Quinta do Conde	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %	
<b>Fibras</b>	<b>168</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>90%</b>	
< 0,5	81	7	48%	44%	91%	
[0,5-1,0]	26	3	15%	19%	88%	
]1,0-2,0]	24	4	14%	25%	83%	
]2,0-3,0]	18	1	11%	6%	94%	
> 3,0	19	2	11%	13%	89%	
<b>Fragmentos</b>	<b>210</b>	<b>2436</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>-1060%</b>	
< 0,5	196	2436	93%	100%	-1143%	
[0,5-1,0]	7	0	3%	0%	100%	
]1,0-2,0]	5	0	2%	0%	100%	
]2,0-3,0]	1	0	0%	0%	100%	
> 3,0	1	0	0%	0%	100%	
<b>Total</b>	<b>378</b>	<b>2451</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-548%</b>	

### 3) Fernão Ferro

**Tabela A.10** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total e remoção para a amostra FN.

NaCl					
Fernão Ferro	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %
Fibras	58	51	47%	49%	12%
Fragmentos	66	54	53%	51%	18%
<b>Total</b>	<b>124</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>15%</b>

**Tabela A.11** - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total para a amostra FN.

NaCl				
Fernão Ferro	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %
<b>Fibras</b>	<b>58</b>	<b>51</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Amarelo	2	1	3%	2%
Azul	18	19	31%	37%
Branco	0	1	0%	2%
Castanho	0	1	0%	2%
Cinzentos	2	0	3%	0%
Incolor	8	8	14%	16%
Laranja	0	0	0%	0%
Lilás	0	1	0%	2%
Preto	9	10	16%	20%
Rosa	0	0	0%	0%
Verde	1	1	2%	2%
Vermelho	18	11	31%	22%
<b>Fragmentos</b>	<b>66</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Amarelo	1	0	2%	0%
Azul	34	22	52%	41%
Branco	0	1	0%	2%
Castanho	0	0	0%	0%
Cinzentos	4	2	6%	4%
Incolor	9	6	14%	11%
Laranja	1	5	2%	9%
Lilás	0	7	0%	13%
Preto	0	0	0%	0%
Rosa	0	1	0%	2%
Verde	0	0	0%	0%
Vermelho	17	13	26%	24%
<b>Total</b>	<b>124</b>	<b>105</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Tabela A.12** - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total e remoção para a amostra FN.

NaCl						
Fernão Ferro	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %	
<b>Fibras</b>	<b>58</b>	<b>51</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>12%</b>	
< 0,5	8	6	14%	12%	25%	
[0,5-1,0]	26	24	45%	47%	8%	
]1,0-2,0]	19	13	33%	25%	32%	
]2,0-3,0]	3	6	5%	12%	-100%	
> 3,0	2	2	3%	4%	0%	
<b>Fragmentos</b>	<b>66</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>18%</b>	
< 0,5	60	53	91%	98%	12%	
[0,5-1,0]	2	1	3%	2%	50%	
]1,0-2,0]	3	0	5%	0%	100%	
]2,0-3,0]	1	0	2%	0%	100%	
> 3,0	0	1	0%	2%	0%	
<b>Total</b>	<b>124</b>	<b>105</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>15%</b>	

**Tabela A.13** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total e remoção para as amostras FK1, FK2 e FKM.

KOH						
Fernão Ferro	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %	
<b>Amostra</b>			<b>1</b>			
Fibras	116	26	33%	28%	78%	
Fragmentos	233	68	67%	72%	71%	
Total	349	94	100%	100%	73%	
<b>Amostra</b>			<b>2</b>			
Fibras	452	25	55%	12%	94%	
Fragmentos	363	188	45%	89%	48%	
Total	815	212	100%	100%	74%	
<b>Amostra</b>			<b>Média</b>			
Fibras	284	26	49%	17%	91%	
Fragmentos	298	128	51%	84%	57%	
Total	582	153	100%	100%	74%	

**Tabela A.14** - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR do Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total para as amostras FK1, FK2 e FKM.

KOH	1		2		Média			
Fernão Ferro	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %
<b>Fibras</b>	<b>116</b>	<b>26</b>	<b>452</b>	<b>25</b>	<b>284</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Amarelo	3	0	0	1	2	1	0%	4%
Azul	41	8	176	8	109	8	39%	32%
Branco	0	0	0	0	0	0	0%	0%
Castanho	0	0	17	0	9	0	4%	0%
Cinzentos	2	0	12	0	7	0	3%	0%
Incolor	17	9	9	7	13	8	2%	28%
Laranja	0	0	0	0	0	0	0%	0%
Lilás	0	1	0	0	0	1	0%	0%
Preto	38	8	175	7	107	8	39%	28%
Rosa	1	0	0	0	1	0	0%	0%
Verde	1	0	1	0	1	0	0%	0%
Vermelho	13	2	62	3	38	3	14%	12%
<b>Fragmentos</b>	<b>233</b>	<b>68</b>	<b>363</b>	<b>188</b>	<b>298</b>	<b>128</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Amarelo	0	1	0	0	0	1	0%	0%
Azul	81	18	94	6	88	12	26%	3%
Branco	0	0	0	0	0	0	0%	0%
Castanho	0	1	0	0	0	1	0%	0%
Cinzentos	9	5	3	0	6	3	1%	0%
Incolor	31	7	3	11	17	9	1%	6%
Laranja	7	2	11	13	9	8	3%	7%
Lilás	5	8	6	2	6	5	2%	1%
Preto	0	0	0	0	0	0	0%	0%
Rosa	5	5	1	2	3	4	0%	1%
Verde	1	0	0	0	1	0	0%	0%
Vermelho	94	22	245	155	170	89	67%	82%
<b>Total</b>	<b>349</b>	<b>94</b>	<b>815</b>	<b>212</b>	<b>582</b>	<b>153</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Tabela A.15** - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR de Fernão Ferro, assim como os respectivos pesos no total e remoção para as amostras FK1, FK2 e FKM.

KOH	1		2		Média				
Fernão Ferro	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %
<b>Fibras</b>	<b>116</b>	<b>26</b>	<b>452</b>	<b>25</b>	<b>284</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>91%</b>
< 0,5	30	6	147	8	89	7	31%	27%	92%
[0,5-1,0]	45	7	174	7	110	7	39%	27%	94%
]1,0-2,0]	25	7	70	6	48	7	17%	27%	85%
]2,0-3,0]	13	4	41	3	27	4	10%	15%	85%
> 3,0	3	3	20	1	12	2	4%	8%	83%
<b>Fragmentos</b>	<b>233</b>	<b>68</b>	<b>363</b>	<b>188</b>	<b>298</b>	<b>128</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>57%</b>
< 0,5	231	66	362	184	297	125	100%	98%	58%
[0,5-1,0]	1	2	0	1	1	2	0%	2%	-100%
]1,0-2,0]	1	0	0	1	1	1	0%	1%	0%
]2,0-3,0]	0	0	1	1	1	1	0%	1%	0%
> 3,0	0	0	0	1	0	1	0%	1%	0%
<b>Total</b>	<b>349</b>	<b>94</b>	<b>815</b>	<b>212</b>	<b>582</b>	<b>153</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>74%</b>

#### 4) Lagoa/Meco

**Tabela A.16** - Quantidade de microplásticos (fibras e fragmentos) no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco, assim como os respectivos pesos no total e remoção.

NaCl					
Lagoa/Meco	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %
Fibras	58	30	46%	29%	48%
Fragmentos	68	74	54%	71%	-9%
<b>Total</b>	<b>126</b>	<b>104</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>17%</b>

**Tabela A.17** - Quantidade de microplásticos por cor no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco, assim como os respectivos pesos no total.

NaCl					
Lagoa/Meco	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup>	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup>	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	
<b>Fibras</b>	<b>58</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	
Amarelo	3	0	5%	0%	
Azul	17	14	29%	47%	
Branco	0	0	0%	0%	
Castanho	0	0	0%	0%	
Cinzentos	1	0	2%	0%	
Incolor	9	5	16%	17%	
Laranja	0	0	0%	0%	
Lilás	1	1	2%	3%	
Preto	14	6	24%	20%	
Rosa	0	0	0%	0%	
Verde	2	0	3%	0%	
Vermelho	11	5	19%	17%	
<b>Fragmentos</b>	<b>68</b>	<b>74</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	
Amarelo	0	0	0%	0%	
Azul	18	9	26%	12%	
Branco	2	0	3%	0%	
Castanho	0	0	0%	0%	
Cinzentos	4	0	6%	0%	
Incolor	6	34	9%	46%	
Laranja	0	1	0%	1%	
Lilás	9	2	13%	3%	
Preto	2	0	3%	0%	
Rosa	0	0	0%	0%	
Verde	4	1	6%	1%	
Vermelho	23	29	34%	39%	
<b>Total</b>	<b>126</b>	<b>104</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	

**Tabela A.18** - Quantidade de microplásticos por tamanho no afluente e efluente da ETAR da Lagoa/Meco, assim como os respectivos pesos no total e remoção.

NaCl						
Lagoa/Meco	Afluente Bruto MP.L <sup>-1</sup> 1	Efluente Tratado MP.L <sup>-1</sup> 1	Afluente Bruto %	Efluente Tratado %	Remoção %	
<b>Fibras</b>	<b>58</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>48%</b>	
< 0,5	8	7	14%	23%	13%	
[0,5-1,0]	17	12	29%	40%	29%	
[1,0-2,0]	19	7	33%	23%	63%	
[2,0-3,0]	9	3	16%	10%	67%	
> 3,0	5	3	9%	10%	40%	
<b>Fragmentos</b>	<b>68</b>	<b>74</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>-9%</b>	
< 0,5	66	71	97%	96%	-8%	
[0,5-1,0]	0	2	0%	3%	0%	
[1,0-2,0]	0	1	0%	1%	0%	
[2,0-3,0]	0	0	0%	0%	0%	
> 3,0	2	0	3%	0%	100%	
<b>Total</b>	<b>126</b>	<b>104</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>17%</b>	



## Anexo II – Resultados do programa de estatística SPSS

### Testes não paramétrico

Resumo de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
<b>1</b>	A distribuição de Fibras é a mesma entre as categorias de Efluente	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,001 <sup>1</sup>	Rejeitar a hipótese nula
<b>2</b>	A distribuição de Fibras é a mesma entre as categorias de Efluente	Teste U de Kruskal-Wallis de Amostras Independentes	,002	Rejeitar a hipótese nula
<b>3</b>	A distribuição de Fragmentos é a mesma entre as categorias de Efluente	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,161 <sup>1</sup>	Reter a hipótese nula
<b>4</b>	A distribuição de Fragmentos é a mesma entre as categorias de Efluente	Teste U de Kruskal-Wallis de Amostras Independentes	,156	Reter a hipótese nula
<b>5</b>	A distribuição de Total é a mesma entre as categorias de Efluente	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	,065 <sup>1</sup>	Reter a hipótese nula
<b>6</b>	A distribuição de Total é a mesma entre as categorias de Efluente	Teste U de Kruskal-Wallis de Amostras Independentes	,059	Reter a hipótese nula

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05

<sup>1</sup> A exata significância é exibida para este teste

**Figura A.1** – Resultado dos testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para os tipos de microplásticos.

## Testes não paramétrico

### Resumo de Teste de Hipótese

	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
<b>1</b>	A distribuição de Fibras é a mesma entre as categorias de Local	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes		Incapaz de calcular
<b>2</b>	A distribuição de Fibras é a mesma entre as categorias de Local	Teste de Kruskal-Wallis de Amostras Independentes	,658	Reter a hipótese nula
<b>3</b>	A distribuição de Fragmentos é a mesma entre as categorias de Local	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes		Incapaz de calcular
<b>4</b>	A distribuição de Fragmentos é a mesma entre as categorias de Local	Teste de Kruskal-Wallis de Amostras Independentes	,357	Reter a hipótese nula
<b>5</b>	A distribuição de Total é a mesma entre as categorias de Local	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes		Incapaz de calcular
<b>6</b>	A distribuição de Total é a mesma entre as categorias de Local	Teste de Kruskal-Wallis de Amostras Independentes	,231	Reter a hipótese nula

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05

**Figura A.2** - Resultado do teste de Kruskal-Wallis para os tipos de microplásticos e o local de recolha das amostras.

## Correlações não paramétricas

Correlações			Fibras	Fragmentos	Total
r <sub>o</sub> de Spearman	Fibras	Coefficiente de Correlação	1,000	,398	,508 *
		Sig. (2 extremidades)	*	,126	,045
		N	16	16	16
	Fragmentos	Coefficiente de Correlação	,398	1,000	,951 **
		Sig. (2 extremidades)	,126	*	,000
		N	16	16	16
	Total	Coefficiente de Correlação	,508 *	,951 **	1,000
		Sig. (2 extremidades)	,045	,000	*
		N	16	16	16

\*, A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

\*\*, A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

**Figura A.3** - Resultado do teste de Spearman para os tipos de microplásticos.